

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Roland Frankenberger

Einfluss des Vor-Erwärmens auf die Materialeigenschaften dentaler Komposite

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin der

Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Elisabeth Gerlach

aus

Marburg

Marburg 2013

Angenommen vom Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg am:
28. Mai 2013

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. Matthias Rothmund
Referent: Prof. Dr. Roland Frankenberger
Korreferent: Prof. Dr. Ulrich Lotzmann

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Literaturübersicht	3
2.1 Zusammensetzung der Komposite	3
2.1.1 Organische Matrix	4
2.1.1.1 Bis-GMA.....	4
2.1.1.2 TEGDMA (Triethylenglykol-dimethacrylat)	5
2.1.1.3 UDMA (Urethandimethacrylat).....	5
2.1.1.4 Bis-EMA (Bisphenol-A ethoxyliertes Dimethacrylat)[4]	6
2.1.1.5 DX-511	6
2.1.1.6 TCD-DI-HEA (Bis-(acryloyloxymethyl)tricyclo[5.2.1.0.sup.2,6]decan)	7
2.1.2 Initiatoren.....	7
2.1.3 Stabilisatoren	8
2.1.4 UV-Stabilisatoren.....	9
2.1.5 Pigmente	9
2.1.6 Füllstoffe (Disperse Phase) [22]	9
2.1.7 Verbundphase.....	10
2.2 Klassifikation der Komposite.....	12
2.2.1 Einteilung nach der Füllstoffart	12
2.2.1.1 Makrofüllerkomposite	12
2.2.1.2 Mikrofüllerkomposite und inhomogene Mikrofüllerkomposite	12
2.2.1.3 Nanofüllerkomposite.....	13
2.2.1.4 Hybridkomposite	14
2.2.2 Einteilung nach Basischemie.....	15
2.2.2.1 Methacrylate	15
2.2.2.2 Ormocere.....	15
2.2.2.3 Kompomere.....	15
2.2.3 Einteilung nach Viskosität.....	16
2.2.3.1 Fließfähige Komposite (Flowables)	16
2.2.3.2 Komposite mittlerer Viskosität (Universalkomposite).....	17
2.2.3.3 Stopfbare Komposite (Packables).....	17
2.3 Physikalische Eigenschaften	17
2.3.1 Auspresskraft.....	17

2.3.2	Festigkeit und Initialklebrigkeit	18
2.3.3	Biegefestigkeit und E-Modul	18
2.3.4	Volumenschrumpfung	20
2.3.5	Schrumpfspannung.....	21
2.3.6	Polymerisationstiefe.....	21
2.3.7	Umsatz der Doppelbindungen	22
2.4	Temperatureinfluss	23
2.4.1	Einfluss auf die Pulpa	23
2.4.2	Einfluss auf Compositeigenschaften	23
3.	Zielsetzung und Arbeitshypothese.....	25
4.	Material und Methode.....	26
4.1	Material	26
4.1.1	Komposite.....	26
4.1.1.1	Charisma® (Heraeus Kulzer GmbH)	26
4.1.1.2	Venus Diamond® (Heraeus Kulzer GmbH)	27
4.1.1.3	Kalore® (GC Corporation)	28
4.1.1.4	Tetric EvoCeram® (Ivoclar Vivadent GmbH)	28
4.1.2	Vorerwärmungsgeräte	29
4.1.2.1	Ease-It™ Composite Heater (RØNVIG Dental Mfg. A/S).....	29
4.1.2.2	Calset™ Compule Heater (AdDent, Inc.).....	30
4.2	Methode	30
4.2.1	Temperaturverlauf Heizgerät und Karpule.....	30
4.2.2	Temperaturverlauf Pulpencavum.....	32
4.2.3	Prüfung werkstoffrelevanter Eigenschaften.....	33
4.2.4	Auspresskräfte aus Karpule	35
4.2.5	Festigkeit und Initialklebrigkeit	37
4.2.6	Biegefestigkeit und E-Modul	40
4.2.7	Volumenschrumpf.....	44
4.2.8	Schrumpfkraft.....	46
4.2.9	Polymerisationstiefe.....	50
4.2.10	Umsatz der Doppelbindungen.....	52

5. Ergebnisse	55
5.1 Temperaturverlauf Heizgerät	55
5.1.1 Calset	55
5.1.2 Ease-It	56
5.2 Temperaturverlauf Karpule	58
5.2.1 37 °C (Calset)	58
5.2.2 40 °C (Ease-It)	59
5.2.3 45 °C (Ease-It)	60
5.2.4 50 °C (Ease-It)	62
5.2.5 54 °C (Calset)	63
5.2.6 68 °C (Calset)	64
5.3 Temperaturverlauf Pulpa	65
5.4 Auspresskraft	66
5.5 Festigkeit und Initialklebrigkeit	68
5.6 Biegefestigkeit und E-Modul	70
5.7 Volumenschrumpf	73
5.8 Schrumpfspannung	74
5.9 Polymerisationstiefe	80
5.10 Umsatz der Doppelbindungen	81
6. Diskussion	86
6.1 Material und Methode	86
6.1.1 Material	86
6.1.1.1 Vorerwärmungsgeräte	86
6.1.1.2 Komposite	86
6.1.2 Methode	87
6.2 Ergebnisse	90
6.2.1 Diskussion der Arbeitshypothese 1	90
6.2.2 Diskussion der Arbeitshypothese 2	91
6.2.3 Diskussion der Arbeitshypothese 3	93
6.2.4 Diskussion der Arbeitshypothese 4	95
6.3 Schlussfolgerung für die Praxis	97
7. Zusammenfassung	98
7.1 Zusammenfassung deutsch	98

7.2	Zusammenfassung englisch.....	100
8.	Anhang	102
8.1	Materialien, Geräte und Software	102
8.2	Abbildungsverzeichnis.....	104
8.3	Tabellenverzeichnis	108
8.4	Literaturverzeichnis.....	109
8.5	Verzeichnis der akademischen Lehrer.....	115
8.6	Danksagung	116
9.	Anlagenverzeichnis und Anlagen	IV

1. Einleitung und Problemstellung

Komposite sind ein grundlegender Bestandteil der Zahnmedizin und aus dem Praxisalltag nicht mehr wegzudenken. Der häufige Wunsch der Patienten nach einem hochwertigen, ästhetisch und gesundheitlich einwandfreien Füllungsmaterial und das ständige Streben der Entwickler haben u. a. dazu geführt, dass Komposite auch im kaulasttragenden Seitenzahngebiet angewendet werden können. Obwohl dieses Ziel erreicht ist, werden dennoch fortwährend Verbesserungen durch die Weiterentwicklung dieser Materialien und deren Handhabung angestrebt.

Viele verschiedene Eigenschaften der Komposite nehmen Einfluss auf die Wertigkeit des Materials und auch auf die Handhabung durch den Zahnarzt¹. So sind der Schrumpf und die Schrumpfspannung sowie die Biegefestigkeit und der Elastizitätsmodul, kurz: E-Modul, wichtige Parameter zur Beurteilung eines Füllungsmaterials. Auch die Aushärtetiefe, die Konsistenz und die Initialklebrigkeit haben Auswirkungen auf die Haltbarkeit der Restauration und die Verarbeitung des Materials. Der Doppelbindungsumsatz hat zudem Einfluss auf die biologische Verträglichkeit, indem bei einem hohen Umsatz weniger Monomere freigesetzt und vom Patienten aufgenommen werden können. Unter der Auspresskraft ist die Kraft zu verstehen, die der Zahnarzt aufbringen muss, um das Material aus der Karpule zu extrudieren. Diese Auspresskraft hat keine direkten Auswirkungen auf die Wertigkeit einer Füllung, jedoch erleichtert ein einfaches Ausbringen die Arbeit des handelnden Zahnarztes.

Ein Ansatz zur Optimierung von Kompositen wird von den Entwicklern und Herstellern in der chemischen Zusammensetzung der Materialien gesehen. Durch unterschiedliche Matrixmoleküle, Füllkörperanteile und Füllkörperzusammensetzungen oder auch deren Oberflächenbehandlung wird versucht, die Materialeigenschaften weiter zu verbessern.

¹ Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für beide Geschlechter.

Einen anderen Ansatz stellt die Möglichkeit der Vorerwärmung der Komposite vor der Applikation und Verarbeitung dar. Das Erwärmen der Komposite soll zu einer besseren Handhabung durch eine höhere Fließfähigkeit, zu einer exakteren Adaptation an die Kavitätenwände und zu einem gesteigerten Doppelbindungsumsatz führen.

Grundlegend ist die Unbedenklichkeit der Anwendung, bei der das Komposit auf bis zu 68 °C erwärmt wird, für die Pulpa zu klären. Des Weiteren stellt sich die Frage, inwiefern die Vorerwärmungsgeräte die Erwartungen des Benutzers erfüllen und ob es bei Kompositen unterschiedlicher Zusammensetzung zu abweichenden Ergebnissen kommt.

2. Literaturübersicht

2.1 Zusammensetzung der Komposite

Komposite (lat. compomere = zusammenfügen) sind der Definition entsprechend zusammengesetzte Werkstoffe. Nach dem Einbringen in eine Kavität härten diese Füllungswerkstoffe chemisch oder durch Lichtbestrahlung aus [29]. Die modernen Komposite härten allerdings alle durch Lichtzufuhr aus. Als dafür benötigte Energiezufuhr wird eine Lichtintensität von mindestens 400 mW/cm^2 angegeben [57]. Die zur Polymerisation von lichthärtenden Kompositen eingesetzten Wellenlängen liegen im sichtbaren Bereich zwischen 400 nm und 500 nm [39].

Ein lichthärtendes Restaurationsmaterial, das sich für die Wiederherstellung von Okklusalfächen eignet, wird in der Norm als Typ 1, Klasse 2, Gruppe 1 klassifiziert [13]. Der organischen Matrix werden anorganische Füllkörper beigefügt, um die Polymerisationsschrumpfung um ca. 12 % auf ca. 3 % zu reduzieren. Zudem werden durch diesen Zusatz weitere Materialeigenschaften verbessert [16,24]. Um einen Verbund des Füllstoffes mit der organischen Matrix zu bewirken, werden die Partikel der Füllstoffe mit organischen Siliciumverbindungen (Silanen) behandelt [16, 48]. Seit Anfang des Zeitalters der Komposite, beginnend mit dem von Bowen [3] gelegten Grundbaustein der Synthese des Bisphenol-A-Glyzidyl-Methacrylat (kurz Bis-GMA) durch Kombination von Dimethacrylaten und Quarzpuder [65], unterliegen die Komposite der ständigen Weiterentwicklung. An der grundsätzlichen Zusammensetzung dieser Werkstoffe, bestehend aus einer organischen Matrix, anorganischen Füllstoffen und einer Verbundphase [66], hat sich jedoch nichts geändert.

2.1.1 Organische Matrix

Inhalt der organischen Matrix sind nach Faltermeier Monomere, sowie Initiatoren, Stabilisatoren, Farbstoffe, Pigmente und weitere Additiva [22]. Die verschiedenen Matrixmoleküle, die in dentalen Kompositen verwendet werden, werden laut Stansbury nach spezifischen Eigenschaften wie Viskosität, Reaktionsfähigkeit, Hydrophobie und möglichem Vernetzungsgrad ausgewählt. Diese Eigenschaften seien hauptsächlich von der Struktur der Moleküle abhängig und sollen durch entsprechende Kombination verschiedener Moleküle verstärkt werden können. Neben der Form und Größe seien die intermolekularen Bindungen bestimmend für die Viskosität [60].

2.1.1.1 Bis-GMA

Bis-GMA ist das am häufigsten in dentalen Kompositen eingesetzte Matrixmolekül und ist nach Ernst in über 90 % aller Komposite enthalten. Das Molekül verfügt über eine lineare Struktur, was verantwortlich für das Problem der Polymerisationsschrumpfung ist. Durch die Zugabe verschiedener Füllkörper kann die Schrumpfung in einem gewissen Maß reduziert werden [17]. Kunzelmann verweist darauf, dass sich Bis-GMA mit 6 Vol-%, im Vergleich zu anderen in dentalen Kompositen verwendeten Monomeren wie UDMA und TEGDMA, mit einer relativ geringen Polymerisationsschrumpfung ausweist [38]. Bis-GMA weist nach Chen und Stansbury eine sehr hohe Viskosität, bedingt durch die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen der Hydroxylgruppen, beidseits des Moleküls [42], und den Monomeren [60, 4] und durch die von den Phenolringen verursachte starre Molekülstruktur auf. Aus diesem Grund muss Bis-GMA mit flüssigeren Monomeren verdünnt werden, um eine adäquate Viskosität zu erreichen. Weiter berichtet Kunzelmann über die Hydrophilie des Moleküls, was zu einer vermehrten Wasseraufnahme und Quellung führt.

Folglich verschlechtern sich dadurch die mechanischen Eigenschaften des Komposits [42].

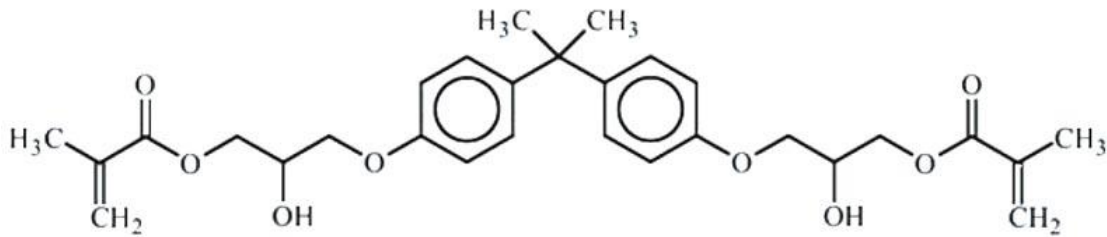


Abb. 2-1: Chemische Struktur Bis-GMA [21]

2.1.1.2 TEGDMA (Triethylenglykol-dimethacrylat)

TEGDMA, welches nach Chen weniger viskös ist als Bis-GMA, wird diesem häufig zugefügt, um die Viskosität herabzusetzen. Chen beschreibt, dass es häufig als Verdünner für UDMA und Bis-GMA basierte Komposite verwendet wird, um ein Material herzustellen, welches maximal mit anorganischen Füllkörpern versetzt werden kann. Außerdem steigert dieses Molekül als Copolymerisat den Doppelbindungsumsatz. Allerdings weisen UDMA und Bis-GMA ein höheres Molekulargewicht auf und verfügen über weniger Doppelbindungen pro Einheit, was zu einer geringeren Polymerisationsschrumpfung führt [4].

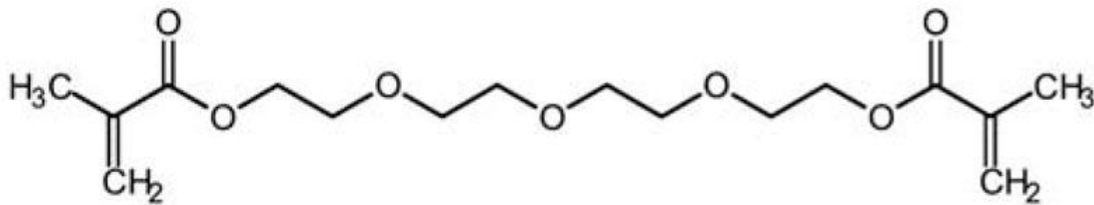


Abb. 2-2: Chemische Struktur TEGDMA [20]

2.1.1.3 UDMA (Urethandimethacrylat)

UDMA, 1974 von Foster und Walker entwickelt [35], hat ein Molekulargewicht von 470,6 g/mol [36]. Es ist ihrer Meinung nach bei Verwendung dieses Monomers kein Zusatz eines Viskositätsverdünnens erforderlich [24]. Die flexible Struktur zeichne sich nach Ilie et al. und Kunzelmann durch das Fehlen des Phenolringes [35], bzw. über flexible Seitenketten aus. Dadurch ist das Molekül zur freien Rotation befähigt und verfügt somit über eine hohe Beweglichkeit, was wiederum zu einer hohen Vernetzung führt. Neben der niedrigeren Viskosität haben UDMA-basierte Komposite eine, im Vergleich zu Bis-GMA, ähnliche Polymerisationsschrumpfung [42]. Wegen dieser geringeren Viskosität und der dadurch bedingten

höheren Mobilität wurde Bis-GMA in vielen Kompositen teilweise oder sogar vollständig durch UDMA ersetzt [35].

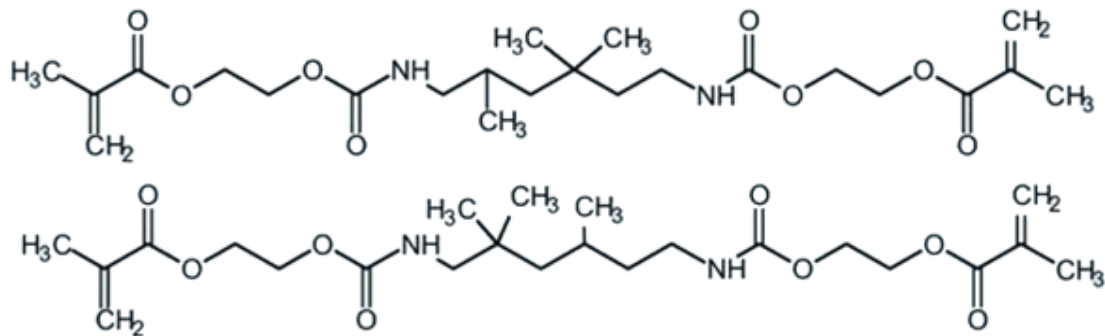


Abb. 2-3: Chemische Struktur UDMA [21]

2.1.1.4 Bis-EMA (Bisphenol-A ethoxyliertes Dimethacrylat) [4]

Das Molekül wird nach der Esstech Inc. oft in Kompositen in Verbindung mit TEGDMA und Bis-GMA verwendet. Es weist eine geringe Wasseraufnahme und hohe Polymerisationsrate auf [21].

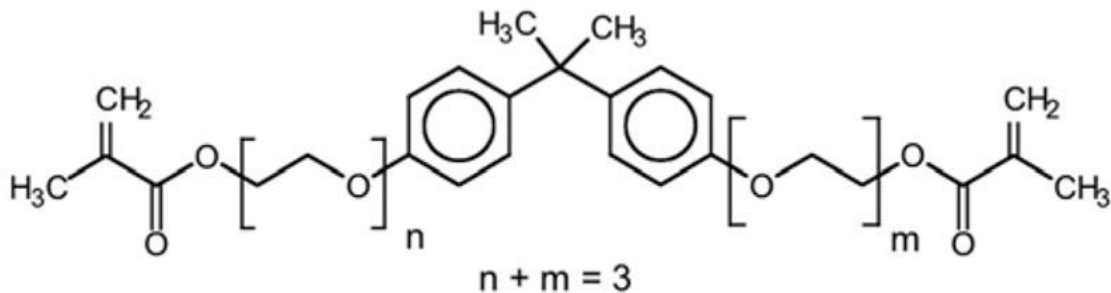


Abb. 2-4: Chemische Struktur Bis-EMA [21]

2.1.1.5 DX-511

DX-511 ist ein von DuPont entwickeltes Molekül mit einem langen, steifen Zentrum, flexiblen Seitenketten und weniger Kohlenstoffdoppelbindungen als andere Matrixmoleküle. Das Molekül hat nach Ilie et al. ein Molekulargewicht von 895 g/mol. Durch dieses im Vergleich zu Bis-GMA und UDMA höhere Molekulargewicht soll DX-511 in der Lage sein, die Polymerisationsschrumpfung zu reduzieren [36]. Auch Janda sieht diesen Zusammenhang zwischen der Molmasse der Monomere und der Polymerisationsschrumpfung, während Rzanny et al. die Anzahl der polymerisierbaren Doppelbindungen als Ursache sieht [59]. (s. Abschnitt 2.3.4 Volumenschrumpfung)

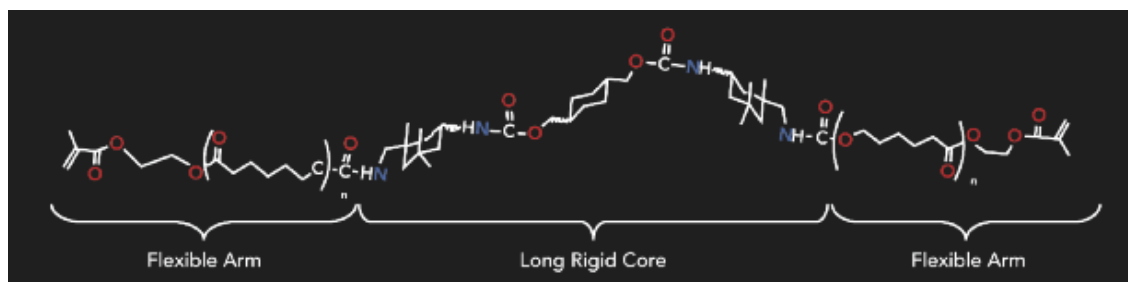


Abb. 2-5: Chemische Struktur DX-511 [28]

2.1.1.6 TCD-DI-HEA (Bis-(acryloyloxymethyl)tricyclo[5.2.1.0.sup.2,6]decan)

Bei dem TCD-DI-HEA-Molekül handelt es sich um ein von Heraeus Kulzer GmbH patentiertes Acrylatmonomer mit einer TCD-Urethan-Struktur. Es wird als Alternative zu den schrumpfarmen Bis-GMA-Monomeren angesehen, da auch das TCD-Gerüst als rigide beschrieben wird. Das TCD-Molekül wurde zunächst von der Bayer AG beschrieben. Das TCD-Gerüst ist mit einem Acrylsäureester verknüpft, welches in einer Urethangruppe enthaltend ist. Dadurch kann ein höherer Umsetzungsgrad des Komposits erreicht und trotzdem eine geringe Polymerisations-schrumpfung erzielt werden. Zudem weist das Monomer eine gute biologische Verträglichkeit aus, die den Normvorgaben entspricht [62].

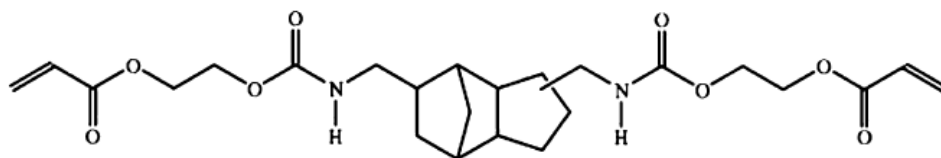


Abb. 2-6: Chemische Struktur TCD-DI-HEA [26]

2.1.2 Initiatoren

Der Initiator ist ein „Molekül, das unter Energieeinfluss (Licht, Wärme, chem. Energie) Radikale bilden kann, die die Polyreaktion auslösen. Der Initiator nimmt an der Reaktion teil und wird verbraucht.“ [38] Janda beschreibt, dass für die Herstellung lichthärtender Kunststoffe Photoinitiatoren verwendet werden. Dabei handelt es sich um Verbindungen, die bei Bestrahlung mit Licht einer bestimmten Wellenlänge in Radikale zerfallen, die daraufhin den Beginn der Polymerisation auslösen. Dementsprechend muss das Absorptionsspektrum der Photoinitiatoren mit dem Emissionsspektrum der Strahlungsquelle hinreichend gut übereinstimmen [38]. Als der bekannteste Photoinitiator für Komposite gilt Kampferchinon [39]. Kampferchinon hat sein Absorptionsmaximum bei einer Wellenlänge von 468

nm, geht mit einem aliphatischen Amin eine Reaktion ein, durch die ein Komplex entsteht, der daraufhin in Radikale zerfällt und die Polymerisationsreaktion startet [29]. Diese Reaktion wird von Janda als sehr komplex beschrieben. Während der Reaktion entfärbt sich das Kampferchinon, das eine intensive gelbe Eigenfarbe hat. Auf diese Farbänderung sei bei der Auswahl der geeigneten Restaurationsfarbe zu achten [39].

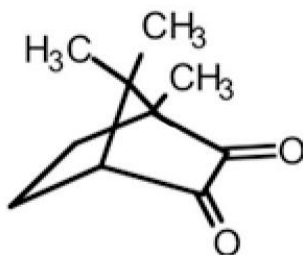


Abb. 2-7: Chemische Struktur Kampferchinon [21]

2.1.3 Stabilisatoren

Stabilisatoren, Inhibitoren und Antioxidanzien sind gleichzusetzten. Ein Stabilisator ist „ein Molekül, das Radikale abfängt, um eine vorzeitige oder nicht gewollte radikalische Polymerisation zu verhindern.“ [38] Diese Stabilisatoren können nach Janda drei Aufgaben erfüllen. Sie können die Monomere gegen vorzeitige Polymerisation oder durch freie Radikale verursachte Alterung stabilisieren oder die Polymerisationsgeschwindigkeit steuern. Als Beispiele nennt Janda Hydrochinon (HQ), Hydrochinonmonomethylether (HQME) und 4-Hydroxy-3.5-di-tert-butyltoluol (BHT) [40]. Als Nachteil kann gesehen werden, dass durch die Stabilisatoren auch die durch Initiatoren gebildeten Radikale abgefangen werden. So ist es notwendig dem Komposit eine größere Menge an Initiatoren als an Stabilisatoren hinzuzufügen. Denn erst durch den Verbrauch der Stabilisatoren kann die radikalische Polymerisation gestartet werden. Dadurch wird auch die Geschwindigkeit der Polymerisationsreaktion herabgesetzt [40].



Abb. 2-8: Chemische Struktur Hydrochinon [15]

2.1.4 UV-Stabilisatoren

Die UV-Stabilisatoren sind dadurch wirksam, dass sie einfallendes UV-Licht absorbieren und in Wärmeenergie umwandeln. Janda verlangt, dass die UV-Stabilisatoren eine „hervorragende Lichtbeständigkeit“ besitzen und farblos sind. Des Weiteren dürfen sie sich selbstverständlich nicht in ihren Absorptionsspektren mit denen der Photoinitiatoren überlagern. Sonst würde die Wirkung der Initiatoren herabgesetzt werden. Als UV-Stabilisatoren werden 2-Hydroxybenzophenon und 2-Hydroxyphenylbenzotriazol verwendet [40].

2.1.5 Pigmente

Unter Pigmenten können anorganische oder organische feste Teilchen verstanden werden, deren Partikelgröße Ausmaße zwischen ca. 0,01 und 1 μm haben. Diese Teilchen müssen, um die gewünschte Farbe zu erreichen, gleichmäßig im Komposit verteilt werden [40]. Es werden einige Anforderungen an Pigmente gestellt, z.B. Farbbeständigkeit über Jahre, Unlöslichkeit in Wasser, keine Toxizität. Nach Janda werden diese Forderungen vor allem von anorganischen Pigmenten (Eisenoxid-, Titaniumdioxid-, Zirkoniumdioxid- oder Aluminiumoxid-Pigmenten) erfüllt. Titaniumdioxid-, Zirkoniumdioxid- oder Aluminiumoxid-Pigmente dienen als Pigmente der weißen Farbgebung und tragen zur Trübung bei. Eisenoxid-Pigmente werden für die schwarze, rote, braune und gelbe Farbgebung genutzt. Janda erklärt, dass es auch eine Reihe organischer Pigmente gibt, die den Anforderungen entsprechen und daher verwendet werden können. Leucht- oder Fluoreszenz-Pigmente sind eine besondere Klasse von Pigmenten. Diese Pigmente können Licht im UV-Bereich absorbieren und daraufhin sichtbares Licht weißlich-bläulicher Farbe emittieren. Dadurch wird die natürliche Fluoreszenz nachgeahmt [40].

2.1.6 Füllstoffe (Disperse Phase) [22]

Die Füllstoffkörper werden nach Zimmerli der Matrix zugesetzt, um die physikalischen und mechanischen Eigenschaften dieser Matrix zu verbessern. Die Füllstoffe bestehen aus Quarz, Keramik oder Silizium [66] und variieren in ihrer Größe zwischen 0,04 und 100 μm [24]. In dentalen Kompositen werden meist mehrere Füll-

stofftypen kombiniert [40], da die erwünschten Eigenschaften zur Materialoptimierung nicht von einem einzigen Füllstoff erreicht werden können, sondern mehrere sich gegenseitig ergänzen [22].

Neben den anorganischen Füllstoffen sind auch organische polymere perl- oder splitterförmige Füllstoffe in dentalen Kompositen vorhanden, deren Zweck es ist, die Reduktion der Polymerisationsschrumpfung oder die Steuerung der Konsistenz herbeizuführen [39].

Ein erhöhter Füllstoffgehalt führt zu einer reduzierten Polymerisationsschrumpfung und geringeren Wasseraufnahme, aber auch zu einem geringeren E-Modul [66].

Weitere durch Zugabe der Füllstoffe zu optimierende Eigenschaften sind die Druck- und Zugfestigkeit, die Abrasionsresistenz [29], die Dimensionsstabilität, optische Eigenschaften [42] und Röntgenopazität [24]. Letzteres steigt proportional zum Volumenanteil des Füllers, ist jedoch nicht bei sämtlichen gegeben. So sind z.B. Quarz und Lithium-Aluminium-Silikat nicht radioopak. Generell wird die Radioopazität durch die Hersteller angegeben [7]. Auch kariesprotektive Eigenschaften werden versucht mittels der Füllstoffe zu beeinflussen. So wird durch Fluoridfreisetzung die Entstehung einer Sekundärkaries verhindert [42].

2.1.7 Verbundphase

Die Verbundphase beinhaltet Silane und Copolymere [22]. Die Silanisierung, eine Oberflächenbehandlung der anorganischen Füllstoffe mit speziellen Silanen, ist ein zentraler Vorgang zur Einbindung anorganischer Füllstoffe in die Matrix. Nach Janda können alle Feststoffe, die an ihrer Oberfläche eine Hydroxylgruppe aufweisen, silanisiert werden [39]. Diese silanisierten Moleküle der Verbundphase haben nach Zimmerli et al. eine Silangruppe auf der einen und eine Methacrylatgruppe auf der anderen Seite („Zwittercharakter“ [39]). So können zum einen Bindungen mit den Füllstoffen und zum anderen mit den Matrixmolekülen eingegangen werden [66].

Der Zweck der Oberflächenbehandlung der Füllkörper besteht nach Kappert et al. hauptsächlich darin, einen kovalenten Verbund zwischen Füllkörpern und der Matrix herzustellen. Doch wird durch die Behandlung auch eine leichtere Einmischung der Füllkörper in die Matrix bewirkt, wodurch höhere Füllgrade erzielt werden können. Zudem kann der Haftvermittler geringe Spannungen im Übergangsbereich von Matrix und Füllkörper ausgleichen [42] und führt zur „Hydrophobierung des Füllstoffs“ [39]. Der letztgenannte Effekt entsteht dadurch, dass der hydrophobe organische Rest des gebundenen Silans vom Füllkörper nach außen hin weg ragt. Diese Anordnung ist auch dafür verantwortlich, dass bei mit Silanen behandelten Füllkörpern eine bessere Benetzung stattfindet und mehr Füllkörper in die Matrix gemischt werden können [42]. Besteht keine feste und dauerhafte Verbindung der beiden Komponenten, Matrix und Füllkörper, resultiert bei Belastung die Gefahr eines „Vorbeigleiten[s]“ (Anm. d. Autors) des Matrixharzes an den Füllkörpern [39]. Janda fasst den Effekt der Silanisierung folgendermaßen zusammen: „Der silanierte Füllstoff bewirkt eine signifikante Verbesserung der Festigkeitseigenschaften.“ [39]

Bei dem Silan, das momentan fast ausschließlich zur Silanisierung von anorganischen Füllstoffen in dentalen Kompositen dient, handelt es sich um das 3-Methacryloyloxypropyltrimethoxysilan, auch γ -Silan, [39] MEMO, γ -MPTMS oder MPS genannt [42]. Optimierungen seitens der Hersteller der Komposite werden jedoch auch im Bereich der Silanisierung angestrebt. Zudem erfordern z.B. neuere Matrixmoleküle, wie die Silorane, „maßgeschneiderte“ [42] Silanmoleküle. „Genaue Informationen zur Durchführung der Silanisierung gelten als Firmengeheimnis und sind nicht im Detail bekannt.“ [42]

2.2 Klassifikation der Komposite

Die Klassifikation nach Lutz et al. aus dem Jahr 1983, die auf der Kategorisierung nach Füllstoffgröße basiert, ist heutzutage noch geläufig [66] und häufig zitiert. Jedoch wird von Zimmerli et al. die Meinung vertreten, dass diese Klassifikation den heutigen Kompositen nicht gerecht wird, da die meisten der Komposite zu den Nano-, Nanohybrid- oder Microhybridkompositen zählen. Zwar sei das Wissen über die Füllkörper immer noch wichtig, doch mache die Entwicklung der verschiedenen Matrixkomponenten eine zusätzliche Einteilung notwendig [66].

2.2.1 Einteilung nach der Füllstoffart

2.2.1.1 Makrofüllerkomposite

Makrofüller enthalten Füllkörperpartikel, bestehend aus Quarz, Glas oder Keramik, in einem Größenbereich von 1 bis 100 μm . Die mittlere Füllkörpergröße liegt zwischen 5 und 10 μm (laut Frankenberger bei 15 μm [24]), der Füllstoffgehalt liegt bei ca. 75 Gew.-%. Um die Röntgenopazität positiv zu beeinflussen, werden dem Komposit Schwermetalle zugefügt [29]. Durch die Größe der Partikel ist eine Hochglanzpolitur nicht möglich [24]. Hellwig et al. führt die Nicht-Polierbarkeit auf den Härteunterschied zwischen Füllkörpern und Matrix zurück. Dies führt zu einem Herausbrechen der Füller aus der Matrix. Die Oberfläche wird schnell rau, was eine Plaqueakkumulation begünstigt. „Makrofüller werden auf Grund [...] [der] (Anm. d. Autors) Nachteile nicht mehr als Füllungsmaterialien vermarktet.“ [16, 24]

2.2.1.2 Mikrofüllerkomposite und inhomogene Mikrofüllerkomposite

Die Partikelgröße der Mikrofüller beträgt ca. 0,05 bis 0,1 μm [47]. Mit dieser Größe kann die Polierbarkeit des Komposits verbessert werden, weshalb diese Art der Komposite noch heute gerne im Frontzahnbereich angewendet werden [24, 29]. Allerdings ändert sich nach Hellwig et al. durch diese Partikelgröße die Matrixbenetzung, sodass der Füllkörperanteil nur ca. 50 Gew.-% (laut Kunzelmann nur ca. 35 Gew.-% [42]) beträgt. Dadurch tritt ein höherer Volumenschumpf auf [42]. Die Mikrofüller weisen eine relativ niedrige Viskosität, eine schlechte Modellierbarkeit

sowie eine geringe Abrasionsresistenz auf [29]. Diese geringe Abrasionsresistenz konnte durch Einführung der inhomogenen Mikrofüller positiv verändert werden [29]. Nach Kunzelmann werden den inhomogenen Mikrofüllerkompositen sog. Präpolymerisate zugesetzt, welche aus Splittern (Größe von ca. 10-30 μm) von hochgefülltem, ausgehärtetem und anschließend gemahlenem Komposit bestehen. Die Viskosität ändert sich dadurch nicht wesentlich, jedoch kann die Volumenschrumpfung verringert werden. Andere Eigenschaften konnten durch Zusatz der Präpolymerisate nicht deutlich verbessert werden und zudem erwies sich der Verbund zwischen den Präpolymerisaten und der Matrix als wenig belastungsstabil [42]. Anders wird es bei Einwag et al. beschrieben, wo es heißt, dass sich inhomogene Mikrofüller gut für den Einsatz im Seitenzahnbereich eignen würden [16].

2.2.1.3 Nanofüllerkomposite

Nanofüllerkomposite weisen eine Partikelgröße von 5 bis 20 nm auf [18] und durch Clusterbildung ist es gelungen, einen ausreichenden Füllstoffgehalt zu erreichen [24]. Die Vorteile dieser Komposite liegen in der reduzierten Schrumpfung bis unter 2 %, einer guten Polierbarkeit und der ausreichenden Möglichkeit, Frontzahnflächen ästhetisch zu gestalten [16].

Siliciumoxid war der erste Nanopartikelfüllstoff und wurde schon in den 1970er Jahren hergestellt. Im Unterschied zu damals enthalten die Nanofüllerkomposite heutzutage agglomerierte Nanopartikel, wodurch erst der hohe Füllgrad erreicht werden kann [39]. Wegen des Verhältnisses von Fülleroberfläche zu Matrix ist sonst eine komplette Ummantelung der reinen Füller mit Matrix nicht möglich. Diese ist für die mechanische Stabilität aber zwingend erforderlich. Um dieses Problem zu lösen, werden die Siliciumdioxid-Nanofüller zusammen mit den Zirkonoxid-Nanofüllern, die für die Radioopazität verantwortlich sind, zu Clustern zusammengefügt. Diese Cluster haben einen Durchmesser von ca. 0,6 bis 1,4 μm . Um eine Bindung der Cluster mit der Matrix sicherzustellen, sind diese silanisiert [18]. Die Partikel der Nanofüllkörper sind kleiner als die Wellenlängen des Lichts und es konnte gezeigt werden, dass eine polierte Oberfläche dieser Komposite länger ihre optische Erscheinung beibehält [66].

2.2.1.4 Hybridkomposite

Die Hybridkomposite kombinieren die positiven Eigenschaften der Mikrofüllkörper- und der Makrofüllkörperpartikel in sich. Dadurch sind diese Komposite nach Frankenberger et al. sowohl im Seitenzahn- wie auch im Frontzahnbereich einsetzbar. Bei den Vorteilen, die diese Kompositklasse in sich vereint, handelt es sich um eine gute Polierbarkeit, Farbstabilität und Abrasionsstabilität. Die mittlere Füllkörpergröße wird mit weniger als 1,5 μm angegeben [16]. Der gesamte Füllkörpergehalt lässt sich durch die Kombination der beiden Füllarten auf bis zu 85 % steigern, wobei 85 bis 90 Gew.-% der Füllkörper Makrofüller und 10 bis 15 Gew.-% Mikrofüller sind [29].

Die Unterklassifikation der Hybridkomposite richtet sich nach der Füllkörpergröße und wird in Feinpartikelhybridkomposite (bis 5 μm), Feinstpartikelhybridkomposite (bis 3 μm) und Submikrometerhybridkomposite ($< 1 \mu\text{m}$) unterteilt [29].

2.2.2 Einteilung nach Basischemie

2.2.2.1 Methacrylate

Janda sieht die Methacrylate, bzw. die Polymethacrylate als eine der wichtigsten Polymerklassen an. Die radikalische Polymerisation wird durch die Methacrylgruppe ermöglicht, wobei durch das Tragen mehrerer Methacrylgruppen (bi-, tri- oder tetrafunktionell) eine stärkere Vernetzung der Moleküle untereinander bewirkt werden kann als bei monofunktionellen Methacrylaten. Letztere seien lediglich zur Bildung von Fadenmolekülen befähigt [38].

Das heute noch am häufigsten verwendete Methacrylat ist Bis-GMA, doch auch TEGDMA und UDMA gehören zu dieser Klassifikation [42].

2.2.2.2 Ormocere

Bei Ormoceren (organically modified ceramic) handelt es sich nach Frankenberger et al. um den Versuch, Keramik in plastischer Form anwendbar zu gestalten. Dabei werden, ähnlich den Kompositen, anorganische Gläser in eine organische Matrix eingebettet [25]. Durch diese Materialart wollte man die bei Kompositen auftretende Polymerisationsschrumpfung auf Monomerebene reduzieren [42], was auch neben einem geringeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten und der Nicht-Freisetzung von Restmonomeren erzielt werden konnte [48].

Die Erwartungen an diese Materialart konnten in der Praxis jedoch nicht erfüllt werden, weshalb Ormocere auf dem Markt momentan keine große Rolle spielen [25, 42].

2.2.2.3 Kompomere

Nach Craig et al. handelt es sich bei Kompomeren um Komposite, die mit Polyacrylsäure-Gruppen modifiziert wurden. Als Indikationsgebiet werden vorrangig wenig belastete Zahnflächen und die Kinderzahnheilkunde angegeben [7].

Frankenberger et al. geben an, dass bei Kompomeren die Vorteile von Kompositen und Glasionomerzementen vereinigt sind. So ist das Material widerstandsfähig und auch ästhetisch akzeptabel, ist aber zudem in der Lage, Fluorid nach Legung der Füllung freizugeben. Weiter handelt es sich um Einkomponentenmaterialien mit 73-79 Gew-% Fluoridsilikatglas als Füllkörper und UDMA als Matrixmolekül. Die mittlere Füllkörpergröße wird mit ca. 2,5 µm angegeben [25], bei Craig et al. mit 0,8-5,0 µm. Beide Quellen betonen das Fehlen von Wasser im reinen Material. Jedoch wird nach der Photopolymerisation des inserierten Materials Wasser aus dem Speichel aufgenommen, was einerseits zu Quellung der Füllung, andererseits aber auch zur Fluoridfreigabe durch die, den Glasionomerzementen ähnliche, stattfindende Säure-Basen-Reaktion führt [7, 25]. Diese Freisetzung ist allerdings geringer als die der GIZ-Füllungen [7].

2.2.3 Einteilung nach Viskosität

Die Viskosität eines Komposits kann durch die Modifikation des Füllkörpervolumenanteils, unabhängig vom Füllkörpersystem, verändert werden. Dadurch entstehen in ihrer Viskosität variierende Komposite; die Fließfähigen, die Komposite mittlerer Viskosität und die stopfbaren Komposite [42].

2.2.3.1 Fließfähige Komposite (Flowables)

Bei diesen Kompositen wird der Füllstoffanteil konventioneller Feinpartikelhybridkomposite verringert und es werden Viskositätsverdünner hinzugefügt [16]. Die Partikelgröße der Füllkörper beträgt 0,4 bis 3,0 µm und der Füllkörpergehalt wird mit 42 bis 53 Vol-% angegeben. Indiziert sind die fließfähigen Komposite für wenig belastete Restaurationen, wie zervikale Defekte [7] oder die erweiterte Fissurenversiegelung. Als vorteilhaft weisen sich nach Einwag et al. die subjektiv einfache Handhabung und die Anwendungsmöglichkeit in der Lining-Technik aus, welche zu einer verbesserten Adaptation des Füllungsmaterials an die Kavitätswände dienen soll [16]. Hingegen kann eine im Vergleich zu Mikrohybridkompositen erhöhte Polymerisationsschrumpfung, niedrigerer E-Modul, geringere Abnutzungsresistenz [7], geringere Röntgenopazität, verminderte Transparenz und Vickershärte als nachteilig angesehen werden [16].

2.2.3.2 Komposite mittlerer Viskosität (Universalkomposite)

Universalkomposite haben ihr Indikationsgebiet sowohl im Front-, wie auch im Seitenzahnbereich. Es wurde die Füllstoffgröße reduziert, was zu einer verbesserten Ästhetik führt [34]. Es besteht nach Frankenberger bei Universalkompositen aber die Gefahr, dass die Opazität ästhetisch nicht zufriedenstellend ist, da die natürliche Erscheinungsform des Dentins nicht ausreichend nachgeahmt werden kann [24].

2.2.3.3 Stopfbare Komposite (Packables)

Diese Komposite hoher Viskosität [42] verfügen über einen Füllkörpergehalt von 66 bis 70 Vol-% [7]. Der Wunsch einiger Zahnärzte nach einem in der Handhabung dem Amalgam ähnlichen Komposit führte zur Entwicklung der „Packables“ [16]. Diese Materialart verfügt über die Vorteile einer hohen Aushärtungstiefe, geringen Polymerisationsschrumpfung, Röntgenopazität sowie einer geringen Abnutzungsrate von 3,5 µm pro Jahr [7]. Allerdings verändert sich die Benetzung der Zahnhartsubstanz bei viskösen Kompositen nach Kunzelmann negativ. Durch einen bestimmten Modellationswiderstand verschlechtert sich die Randqualität, verglichen mit der eines Universalkomposits [42]. Weiter negativ anzumerken sind die geringe Biegefestigkeit und das Ermüdungsverhalten, was zu hohen Verlustraten geführt hat, weshalb sich diese Kompositart nicht etablieren konnte, so die These von Frankenberger et al [16].

2.3 Physikalische Eigenschaften

2.3.1 Auspresskraft

Unter Auspresskraft ist die Kraft zu verstehen, welche aufgewendet werden muss, um das Komposit aus der Karpule auszubringen. Diese Eigenschaft ist bisher wenig untersucht worden. Es liegen keine Daten zu diesem Thema vor.

Die Versuchsdurchführung unterliegt keiner Norm.

2.3.2 Festigkeit und Initialklebrigkeit

Die Festigkeit und die Initialklebrigkeit eines plastischen Kompositmaterials sind zwei für das klinische Handling grundlegende Eigenschaften. Ein Erhöhen des Füllkörpergehalts resultiert in einer höheren Viskosität, was die klebrigen Eigenschaften der Komposite verstärkt [52].

Die Festigkeit hat laut Kaleem et al. direkten Einfluss auf die Konturierung des Komposits und die einfache Insertion. Das ideale Material sollte nach ihnen fließfähig sein, aber auch nach dem Bearbeiten am Platz bleiben [41].

Uctasli et al. weisen darauf hin, dass hochgefüllte Komposite nicht wie Amalgam kondensiert werden können und im klinischen Gebrauch bei hoher Festigkeit häufig Schwierigkeiten bei der Adaptation des Materials an die Kavitätenwand auftreten [61]. Auch nach Ertl et al. sollte das ideale Material einen ausreichend hohen Unterschied zwischen der Klebrigkeit an Stahlinstrumenten und Dentin aufweisen, sodass es in der Kavität verbleibt und nicht durch das Instrument wieder herausgezogen wird. Bei Versuchen von Ertl et al. ist herausgefunden worden, dass sich bei Temperaturerhöhung von 23 °C auf 37 °C die Klebrigkeit erhöht [20].

2.3.3 Biegefestigkeit und E-Modul

Die Biegefestigkeit wird gemäß EN ISO 4049 in einer bis zum Bruch führenden Belastung durchgeführt. Die in der Norm festgelegte Mindestanforderung an die Biegefestigkeit eines für Okklusalfächen geeigneten polymerbasierenden Restormaterials beträgt 80 MPa [13]. Bei der Messung der Biegefestigkeit treten sowohl Druck- als auch Zugbelastungen auf [48], was von besonderem Interesse ist, da Kompositrestaurationen am wahrscheinlichsten bei Zugspannung oder Biegung versagen [7]. Biegefestigkeit und E-Modul können als Spannungs-Dehnungskurve dargestellt werden. Dabei entspricht ein steilerer Kurvenverlauf einem höheren E-Modul, was bei Werkstoffen zu einem spröden Versagen führt [42]. Eine sich steigernde Spannungserhöhung führt zu einer Dehnung des Körpers, die für das jeweilige Material kennzeichnend ist. Wird ein bestimmter Grenzwert überschritten, so kommt es zum Bruch, was als Versagen bezeichnet wird [40].

Sowohl von der Füllstoffart als auch von der Füllstoffmenge abhängig wird die Biegefestigkeit und auch der Elastizitätsmodul beeinflusst [43]. In einer Studie von Rzanny et al. wurde festgestellt, dass mit zunehmendem Füllstoffgehalt der Elastizitätsmodul zunimmt. Allerdings ist die Art der Füllstoffe nicht entscheidend [59]. Des Weiteren sagt Rzanny et al. aus, dass Biegefestigkeit und Elastizitätsmodul durch den UDMA-, Bis-GMA- und TEGDMA-Anteil beeinflusst werden. Die These, dass Produkte mit UDMA-Anteil höhere Biegefestigkeitswerte aufweisen, kann in ihrer Arbeit aber nicht generell bestätigt werden [59]. Nach Roos et al. hängen die Festigkeit (Formänderungswiderstand) und Verformungsfähigkeit bei Kunststoffen wesentlich von der Anordnung der Makromoleküle ab [56].

„Die Proportionalitätskonstante E wird Elastizitätsmodul oder kurz E-Modul genannt und ist eine Materialkonstante mit der Dimension einer Spannung (MPa).“ [56] Der E-Modul ist ein Maß für den materialspezifischen Widerstand gegen eine elastische Deformation [48] und „je größer die Durchbiegung bei gegebener Belastung ist, [...] desto niedriger ist der Elastizitätsmodul.“ [48] Nach Rzanny et al. besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Füllstoffgehalt und E-Modul. Weiter wird in seiner Studie ausgeführt, dass der Elastizitätsmodul als alleiniger Wert nur begrenzt aussagekräftig bezüglich des Festigkeitsverhaltens der Komposite unter klinischen Bedingungen ist. In vivo kann der Wert bis zu 50 % abfallen [59].

Kunzelmann erläutert die Wirkungsweise der Bindungskräfte bei Belastung, die zwischen den Molekülen der Polymerketten herrschen. Dabei werden zunächst überwiegend die sekundären Bindungen (van-der-Waals-Bindungen, Wasserstoffbrückenbindungen), die anteilmäßig in polymerisierten Kompositen stärker vertreten sind aber als relativ schwach gelten, beansprucht. Weiterhin verweist Kunzelmann darauf, dass sich durch den Zusatz von Vernetzern das Bindungsverhältnis stärker zu den primären (kovalenten) Bindungen steuern lässt. Diese primären Bindungen werden als relativ stark angesehen [42].

2.3.4 Volumenschrumpfung

Janda beschreibt die Volumenschrumpfung als Volumenkontraktion, die auftritt, wenn die Monomere zu Polymeren reagieren. Dadurch rücken die bis dahin ungeordneten Monomere enger zusammen und es entsteht eine Ordnung. Demzufolge verringert sich das Volumen [38]. Als Synonym für die Volumenschrumpfung wird die Polymerisationsschrumpfung verwendet.

Kunzelmann et al. betonen, dass es sich bei der Volumenschrumpfung um die „tatsächliche [...] ungehinderten Schrumpfung eines Materials bei der Polymerisation“ handelt [42].

Kunzelmann erklärt die Volumenschrumpfung durch die sich durch die Polymerisation ändernden Bindungsarten der Moleküle. Im unpolymerisierten Zustand werden die Moleküle durch elektrostatische Wechselwirkungen zusammengehalten, im polymerisierten Zustand haben sich kovalente Bindungen ausgebildet. Bei letzterer ist der Abstand zwischen den Molekülen geringer, woraus ein reduzierter Platzbedarf resultiert [42].

Durch einen erhöhten Füllstoffgehalt wird der Volumenschrumpf reduziert [66]. So kann durch Substitution von Monomer durch Füllkörper die Volumenschrumpfung um Werte von 1-5 Vol-% reduziert werden [42]. Janda sieht einen Zusammenhang zwischen der Molmasse der Monomere und der Polymerisationsschrumpfung. Mit steigender Molmasse des Monomers nehme die Polymerisationsschrumpfung ab. So hat Methylmethacrylat eine Schrumpfung von 21 Vol-%, Triethylenglycoldiemethacrylat 15 Vol-%, UDMA 7 Vol-% und Bis-GMA 6 Vol-% [38]. Rzanny et al. geben an, dass der Grad der Volumenschrumpfung von der Anzahl der polymerisierbaren Doppelbindungen abhängig ist [59].

Die Polymerisationsschrumpfung ist hauptursächlich für die Schwierigkeiten im Zusammenhang mit Kompositfüllungen verantwortlich, da durch die Schrumpfung entstehende Zugkräfte auf die Kavitätenwände übertragen werden können.

2.3.5 Schrumpfspannung

Im Gegensatz zum Volumenschrumpf ist die Aussage zur Schrumpfspannung für den Zahnarzt hinsichtlich seiner restaurativen Arbeit weitaus aussagekräftiger. Es ist nach Kunzelmann wichtiger zu wissen, welche Spannungen, die bei der Polymerisationsschrumpfung entstehen, von Komposit auf den Zahn übertragen werden. Zudem muss die gemessene Schrumpfspannung im Zusammenhang mit dem E-Modul betrachtet werden. Ein Material mit einem niedrigen E-Modul kann durchaus weniger Spannungen auf den Verbund von Zahn und Komposit übertragen, da dieser niedrige E-Modul die Spannungen elastisch kompensieren kann. Ein hoher E-Modul hingegen kann, selbst bei geringer Schrumpfung, hohe Spannungen hervorrufen [42].

Weiter beschreibt Kunzelmann die Spannungen, die innerhalb des Komposits während des Polymerisationsvorgangs entstehen, und zu einem Ablösen von der Kavitätenwand bzw. Bildung eines Randspaltes führen können. Direkt nach Polymerisationsbeginn entstehe eine negative Spannung. Diese habe ihre Ursache in einer durch die Wärme der Polymerisationslampe bedingten Ausdehnung des Komposits [42]. Auch die Reaktion innerhalb des Materials führe zu einer beträchtlichen Hitzeentwicklung [23]. Bald darauf komme es aber zu einer Kontraktion, die die Spannungen hervorrufe. Nach ca. 5 Minuten soll sich die Gesamtspannung ausgebildet haben, die Nachpolymerisation dauere aber noch bis 24 Stunden nach Polymerisation an [42].

2.3.6 Polymerisationstiefe

Die Prüfung der Polymerisationstiefe wird gemäß der EN ISO 4049 durchgeführt. Die Polymerisationstiefe des Restaurationsmaterials darf bei als opak gekennzeichneten Farben nicht kleiner als 1,0 mm sein, bei den übrigen Farben nicht kleiner als 1,5 mm [13]. „In keinem Fall dürfen die Werte [...] mehr als 0,5 mm unterhalb des vom Hersteller angegebenen Wertes liegen.“ [13]

Von Relevanz ist die Polymerisationstiefe der Komposite hinsichtlich der klinischen Verarbeitungstechnik. Die Schichtstärke muss so gewählt werden, dass eine

adäquate Polymerisation gewährleistet werden kann. Diesbezüglich gilt weiterhin bei Kavitäten von einer Tiefe von mehr als 3 mm der Grundsatz der Inkrementtechnik [26]. Demgegenüber hebt Kunzelmann hervor, dass Inkremente von maximal 2 mm Schichtstärke ausreichend polymerisiert werden und rät, diese Stärke nicht zu überschreiten [42].

2.3.7 Umsatz der Doppelbindungen

Der Umsatz der Doppelbindungen wird von Janda beschrieben als „Prozentsatz an Monomeren, der sich zum Polymeren umgesetzt hat“[38]. Die Kohlenstoff-Doppelbindungen innerhalb eines Monomermoleküls werden gespalten und vernetzen sich untereinander über einfache Kohlenstoffbindungen zu Polymerketten.

Laut Janda weisen alle Kunststoffe, die in der zahnärztlichen Praxis oder im zahn-technischen Labor polymerisiert werden, einen Restmonomergehalt auf. Hohe Restmonomergehalte beeinflussen die Materialeigenschaften negativ und können bei hoher Löslichkeit auch biologisch bedenklich sein. Der Restmonomergehalt sei darauf zurückzuführen, dass zum Schluss der Polymerisationsreaktion nicht mehr genügend Monomermoleküle mit einer ausreichenden Bewegungsenergie zur Verfügung stehen. Die Bewegungsenergie könne durch längere Polymerisationszeiten und -temperaturen erhöht werden [40]. Nach Stansbury variere der Doppelbindungsumsatz, abhängig von den Umgebungskonditionen, in einer weiten Spanne von weniger als 50 % bis zu mehr als 80 % [60].

2.4 Temperatureinfluss

2.4.1 Einfluss auf die Pulpa

Bereits im Jahr 1965 haben Zach und Cohen herausgefunden, dass schon eine Temperaturerhöhung in der Pulpa von 5,5 °C diese irreversibel schädigt [65]. Daronch et al. untersuchten in einer Arbeit den Einfluss der Komposittemperaturen von 54 °C und 60 °C auf die intrapulpare Temperaturerhöhung. In dieser Studie ist kein signifikanter Einfluss der Komposittemperatur auf die Temperatur der Pulpa festgestellt worden. Vielmehr ist die Temperatur während der Lichtpolymerisation gestiegen. Ursächlich für den geringen Einfluss der Vorerwärmungstemperatur kann der Temperaturabfall zwischen der Entnahme aus dem Vorerwärmungsgerät und der Insertion in die Kavität sein. Ebenso ist es möglich, dass die Karpulen die eingestellten Temperaturen erst gar nicht erreicht haben [10].

Ein wichtiger Faktor in der Beziehung zwischen der Komposit- und der intrapulparen Temperatur ist die trennende Dentinschicht. Yazici et al. konnten in einer Studie den Zusammenhang zwischen der Temperaturerhöhung innerhalb der Pulpa und der Restdentinstärke bestätigen. Dentin verfügt über eine geringe Wärmeleitfähigkeit. Folglich steigt die intrapulpare Temperatur bei geringerer verbleibender Dentinschicht stärker an [65].

2.4.2 Einfluss auf Kompositeigenschaften

Einige Studien haben sich mit dem Temperatureinfluss auf verschiedene Kompositeigenschaften befasst. Fróes-Salgado et al. haben in einer Studie keinen Effekt der Vorerwärmung der Komposite auf die Eigenschaften Doppelbindungsumsatz, Biegefestigkeit und Polymervernetzungsgrad feststellen können. Jedoch konnte in dieser Studie nachgewiesen werden, dass die marginale Adaptation an die Kavitätenwand besser als bei Restaurationen mit nicht erwärmtem Komposit ist [27]. Auch Wagner et al. konnten positive Effekte feststellen, da am Kavitätenrand auftretende Mikroleakages durch diese Methode des Vorerwärmens gering waren [63]. Einen gesteigerten Doppelbindungsumsatz durch die Vorerwärmung konnten Lohbauer et al. auch nicht beweisen, jedoch wird auch in dieser Arbeit die gute marginale Adaptation der erwärmten Materialien betont [46]. Andere Studien

kommen zu differierenden Ergebnissen. Daronch et al. untersuchten u. a. die Veränderung des Doppelbindungsumsatzes durch die Vorerwärmung der Komposite. Dabei konnte eine Erhöhung des Doppelbindungsumsatzes bei vorerwärmtem Material festgestellt werden. Allerdings könne dieses Ergebnis bei unterschiedlichen Herstellern und Farben variieren [9]. Auch Munoz et al. berichten von einem erhöhten Doppelbindungsumsatz und zudem einer erhöhten Polymerisationstiefe durch Vorerwärmung der Komposite [51]. Ebenso sehen Uctasli et al. Vorteile in der Erhöhung der Komposittemperatur. Durch die höhere Beweglichkeit der Polymerketten wird eine gesteigerte Reaktion hervorgerufen, die in eine höhere Vernetzung der Polymere führt. Diese Steigerung kann eine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften bewirken [61].

3. Zielsetzung und Arbeitshypothese

Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Wirkung zweier verschiedener Vorerwärmungsgeräte (Calset von AdDent und Ease-It von Ronvig) auf die Materialeigenschaften verschiedener Komposite (Charisma® und Venus Diamond® von Heraeus Kulzer GmbH, Kalore® von GC Corporation und Tetric EvoCeram® von Ivoclar Vivadent GmbH) unterschiedlicher Matrixchemie zu untersuchen.

Dabei soll festgestellt werden, inwiefern Temperaturen von 37 °C bis 68 °C die Materialeigenschaften beeinflussen und welche Unterschiede dabei zwischen den Kompositen variierender chemischer Zusammensetzung ersichtlich werden.

Folgende Arbeitshypothesen werden untersucht:

1. Die im Pulpencavum messbare Temperaturerhöhung ändert sich nicht signifikant, sodass keine Gefahr der Pulpaschädigung durch Erwärmung der Komposite vor der Verarbeitung besteht.
2. Die Methode des Vorerwärmens führt zu verbesserten Eigenschaften in der klinischen Handhabung ohne die Materialeigenschaften negativ zu beeinflussen.
3. Der Umsatz der Doppelbindungen aller untersuchten Komposite wird mit zunehmender Vorerwärmungstemperatur gesteigert.
4. Es bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen der unterschiedlich aufgebauten Komposite.

4 Material und Methode

4.1 Material

4.1.1 Komposite

Als Versuchsmaterialien werden in dieser Arbeit die Komposite Charisma® (Heraeus Kulzer GmbH), Venus Diamond® (Heraeus Kulzer GmbH), Kalore® (GC Corporation) und Tetric EvoCeram® (Ivoclar Vivadent GmbH) verwendet. Jedes dieser Komposite ist sowohl für direkte Restaurationen im Seitenzahn- als auch im Frontzahnbereich indiziert. Um bei den Versuchen vergleichbare Ergebnisse erzielen zu können, werden die Prüfungen jeweils mit der Universalfarbe A3 durchgeführt. Eine Übersicht über die verwendeten Materialien inkl. Chargennummer gibt Tabelle 4-1.

Tabelle 4-1: Materialienübersicht

Material	Hersteller	Applikationsart	Farbe	Charge
Charisma®	Heraeus Kulzer GmbH	Karpule	A3	010337
Charisma®	Heraeus Kulzer GmbH	Spritze	A3	010504
Venus Diamond®	Heraeus Kulzer GmbH	Karpule	A3	010038
Venus Diamond®	Heraeus Kulzer GmbH	Spritze	A3	0010036
Kalore®	GC Corporation	Karpule	A3	1104012
Kalore®	GC Corporation	Spritze	A3	1005141
Tetric EvoCeram®	Ivoclar Vivadent GmbH	Karpule	A3	01992
Tetric EvoCeram®	Ivoclar Vivadent GmbH	Spritze	A3	N78433

4.1.1.1 Charisma® (Heraeus Kulzer GmbH)

„Charisma® ist ein lichthärtendes [...] Microglass® Composite“ [32] und wird auch „Feinstpartikel-Hybridkomposit“ [33] genannt. Das Komposit basiert auf einer Matrix aus Bis-GMA und TEGDMA. 78 % des Materials besteht aus anorganischen Füllstoffen [30]. Die Zusammensetzung von Charisma ist nach der Gebrauchsanweisung der Heraeus Kulzer GmbH aus Tabelle 4-2 zu entnehmen. Der Füllstoff Bariumaluminiumfluor-Glas liegt bei Größen von 0,02–2 µm, das hoch disperses Siliciumdioxid bei 0,02–0,07 µm [30].

Tabelle 4-2: Zusammensetzung Charisma [32]

Zusammensetzung Charisma®	Gewichtsprozent [%]
Matrix	k. A.
- Bis-GMA	
- TEGDMA	
Füllstoffe	78
- Bariumaluminiumfluor-Glas	
- Siliciumdioxid	
Photoinitiatoren	k. A.
Pigmente	k. A.

4.1.1.2 Venus Diamond® (Heraeus Kulzer GmbH)

„Venus Diamond ist ein [...] Nano-Universalkomposit.“ [31] Die Zusammensetzung von Venus Diamond ist nach Angaben der Gebrauchsanweisung der Tabelle 4-3 zu entnehmen. Laut Gebrauchsanweisung liegt die Partikelgröße der anorganischen Füllkörper bei 0,005 µm – 20 µm [31].

Tabelle 4-3: Zusammensetzung Venus Diamond [31]

Zusammensetzung Venus Diamond®	Gewichtsprozent [%]
Matrix	k. A.
- Urethandimethacrylat (UDMA)	
- TCD-DI-HEA	
Füllstoffe	82
- Bariumaluminiumfluor-Glas	
- Nano-SiO ₂ -Partikel	
Photoinitiatoren	k. A.
Pigmente	k. A.

4.1.1.3 Kalore® (GC Corporation)

Kalore ist ein Nano-Hybrid-Komposit, dass präpolymerisierte Fullkörper und DX-511 enthält [14]. Die präpolymerisierten Füllkörper haben eine Größe von 17 µm und bestehen aus 400 nm Strontiumglas und 100 nm Lanthanoidfluoride. Die anorganischen Fullkörper haben eine Größe von 700 nm [14]. Die Fluoraluminiumsilikat- und Strontiumgläser, die in Kalore verwendet werden, sind silanisiert [14] und als Katalysator wird eine Kombination aus Kampferchinon und Aminen verwendet [14]. Die Zusammensetzung von GC Kalore ist nach dem Technical Manual zu Kalore von GC Tabelle 4-4 zu entnehmen.

Tabelle 4-4: Zusammensetzung Kalore [14]

Zusammensetzung Kalore®	Gewichtsprozent [%]
Matrix	18
- Urethandimethacrylat (UDMA)	
- DX-511-Comonomer	
- Dimethacrylat	
Füllstoffe	82
- Fluoroaluminiumsilikatgläser	
- Strontiumgläser	
- vorpolymerisierte Füllstoffe	
- Silikon-Dioxide	
Photoinitiatoren	< 1
Pigmente	< 1

4.1.1.4 Tetric EvoCeram® (Ivoclar Vivadent GmbH)

Tetric EvoCeram ist ein Nanohybridkomposit [37]. Diesem Material wurden als erstem Hybridkomposit auf dem europäischen Markt wieder Präpolymerisate zugefügt [42]. „Die Partikelgröße der anorganischen Füllstoffe liegt zwischen 40 nm und 3000 nm bei einer mittleren Größe von 550 nm.“ [37] Die in der wissenschaftlichen Dokumentation über Tetric EvoCeram (Lendemann et al.) angegebene Standard-Zusammensetzung ist in Tabelle 4-5 wiedergegeben.

Tabelle: 4-5: Zusammensetzung Tetric EvoCeram [45]

Zusammensetzung Tetric EvoCeram®	Gewichtsprozent [%]
Matrix	16,8
- Bis-GMA	
- Urethandimethacrylat (UDMA)	
- Ethoxiliertes Bis-EMA	
Füllstoffe	48,5
- Bariumglas	
- Ytterbiumtrifluorid	
- Mischoxid	
- Präpolymer	34,0
Additive	0,4
Katalysatoren	0,3
Stabilisatoren	
Pigmente	< 0,1

4.1.2 Vorerwärmungsgeräte

4.1.2.1 Ease-It™ Composite Heater (RØNVIG Dental Mfg. A/S)

„Der Ease-It™ wurde für die Erwärmung von zahnmedizinischen Kompositmaterialien vor deren Anwendung entwickelt, um die Verarbeitungseigenschaften des Materials zu verbessern.“ [54] Die Temperatur kann dafür in einem Bereich von 40 °C bis 50 °C eingestellt werden. Es besteht die Möglichkeit, das zu erwärmende Material in Form von PLTs, Spritzen oder auch direkt auf der antihafbeschichteten Oberfläche zu erwärmen.

Laut Herstellerangaben sollen durch die Anwendung des Composite Heaters die Fließfähigkeit und die Adaptation an die Kavitätenwände erhöht, die physikalischen Eigenschaften des Komposits verbessert und das Risiko von Lufteinschlüssen gemindert werden. Des Weiteren soll diese Vorbehandlung selbst körnigem Material eine glatte und gleichmäßige Oberfläche verleihen [55].

4.1.2.2 Calset™ Compule Heater (AdDent, Inc.)

Calset ist ein Komposit-Erwärmungsgerät, das zusätzlich in der Lage ist Anästhetikum vor der Applikation zu erwärmen. Die einstellbaren Temperaturen sind 37 °C, 54 °C und 68 °C.

Laut einer Informationsbroschüre von AdDent soll Calset über die Vorteile verfügen, die Fließfähigkeit des Komposits zu verbessern, die Polymerisationszeit um 50 % zu verkürzen, die physikalischen Eigenschaften zu verbessern und es soll fähig sein, Mikroleakages zu reduzieren [1].

4.2 Methode

4.2.1 Temperaturverlauf Heizgerät und Karpule

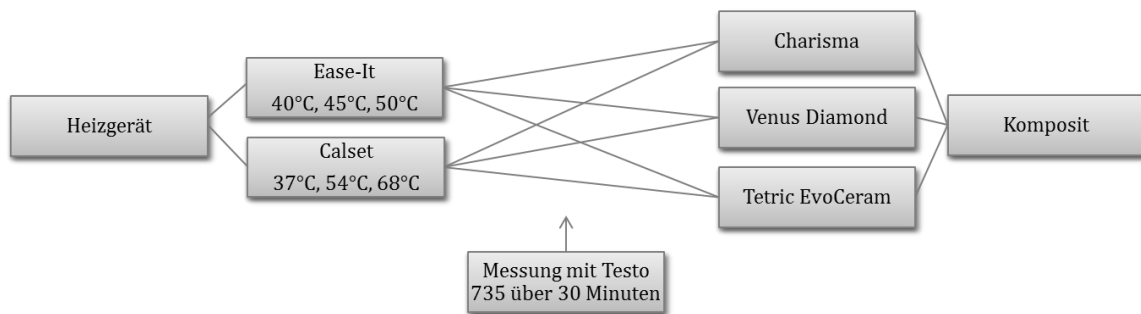


Abb. 4-1: Versuchsvernetzung Temperaturverlauf Heizgerät und Karpule

Es wird jeweils eine Karpule des Komposits (Charisma, Venus Diamond und Tetric EvoCeram ²⁾ in ein Messgerät (Calset und Ease-It) eingebracht, das Gerät auf die gewünschte Temperatur eingestellt und die Vorerwärmung gestartet. Über zwei Messsonden des Temperaturmessgerätes Testo 735, die sich im Inneren der Karpule und zentral im Heizgerät befinden, wird über 30 Minuten mit je einem Messpunkt pro Minute der Temperaturverlauf ermittelt. Vorab muss in die Abdeckung des Gerätes Ease-It ein minimaler Eingang für die Messsonde gebohrt und nach Insertion dieser Sonde mit Komposit verschlossen werden.

²⁾ Das Material Kalore war zum Zeitpunkt der Durchführung dieses Teils der Studie nicht verfügbar. Da die Ergebnisse der Untersuchungen der drei getesteten Materialien keine relevanten Unterschiede zeigten wurde auf eine nachträgliche Durchführung des Versuchs mit dem Material Kalore verzichtet.

Dieses Vorgehen wird mit den drei Kompositen (Charisma, Venus Diamond, Tetric EvoCeram) und sechs einstellbaren Temperaturen (37 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C, 54 °C, 68 °C) der Vorwärmgeräte vorgenommen.



Abb. 4-2: Ease-It™ Composite Heater (RØNVIG Dental Mfg. A/S)
mit Karpule und inserierter Messsonde

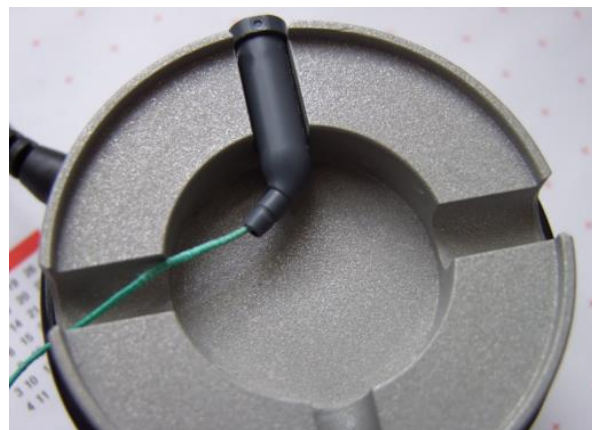


Abb. 4-3: Calset™ Compule Heater (AdDent, Inc.) mit Karpule und inserierter Messsonde

4.2.2 Temperaturverlauf Pulpencavum



Abb. 4-4: Versuchsaufbau Temperaturverlauf Pulpencavum

In einen extrahierten Zahn wird mit Hilfe eines diamantierten Bohrers eine Kavität mit den Maßen 2 x 2 mm Breite und 1 mm Tiefe gebohrt. Eine Messsonde wird in dem Pulpencavum platziert und mittels Komposit fixiert.

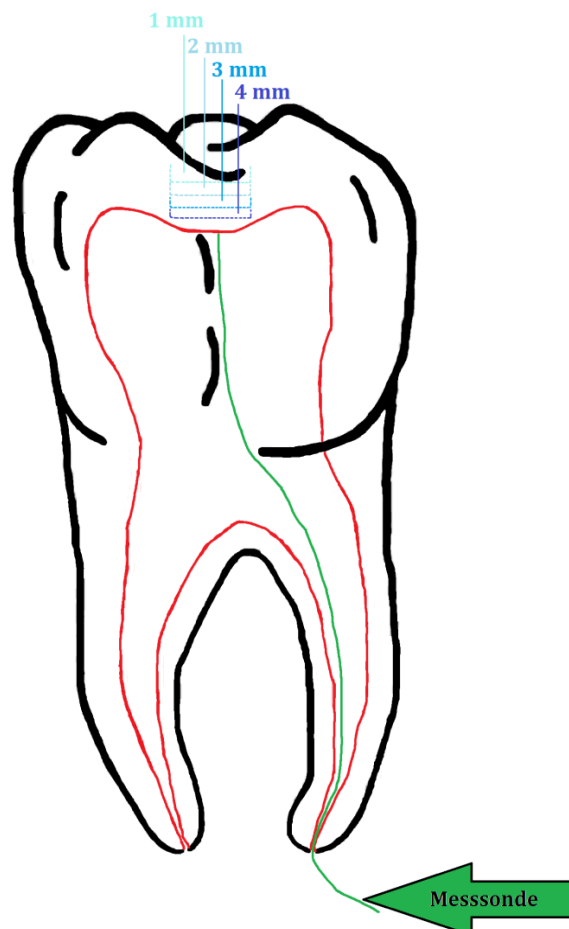


Abb. 4-5: Grafische Darstellung Versuchsaufbau Temperaturverlauf im Pulpencavum

Für diesen Versuch wird repräsentativ das Komposit Charisma verwendet. Zu Beginn wird das Material auf 37 °C erwärmt. Das nun vorerwärmte Komposit wird in die Kavität eingebracht und der Temperaturanstieg mit einem Messpunkt pro Sekunde aufgezeichnet. Der Versuch wird beendet, sobald der Temperaturanstieg im Cavum stoppt und die Temperatur wieder fällt. Nach dem gleichen Schema wird der Versuch mit den Temperaturen 40 °C, 45 °C, 50 °C, 54 °C und 68 °C durchgeführt.

Im nächsten Versuchsschritt wird die Kavität auf 2 mm vertieft, das Komposit nacheinander auf die jeweiligen Temperaturen (37 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C, 54 °C, 68 °C) erwärmt, in die Kavität eingebracht und der Temperaturverlauf im Cavum registriert.

In der Folge wird die Kavität wieder vertieft, zunächst auf 3 mm, nach Abschluss dieser Versuchsreihe auf 4 mm. Die jeweiligen Versuchsreihen beinhalten, analog zu den der Kavitätentiefen von 1 mm, bzw. 2 mm, wieder das Einbringen des auf die entsprechende Temperatur gebrachten Komposits sowie die Aufzeichnung des Temperaturverlaufs im Pulpencavum. Jede Prüfung wird einmal wiederholt.

4.2.3 Prüfung werkstoffrelevanter Eigenschaften

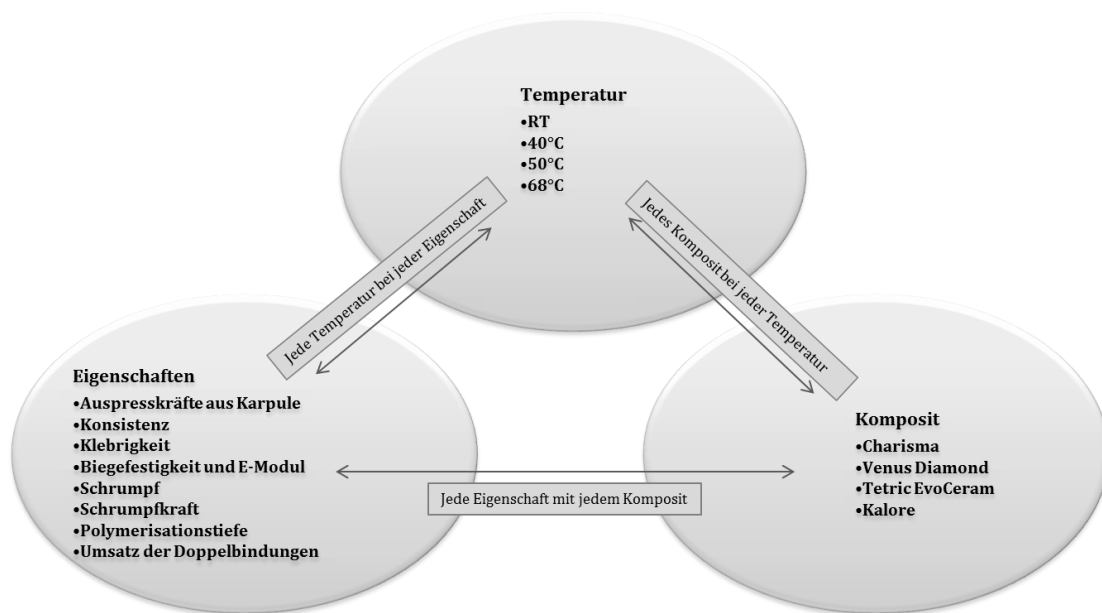


Abb. 4-6: Prüfung werkstoffrelevanter Eigenschaften

Folgende Prüfungen werden gemäß der EN ISO 4049:2009 durchgeführt:

- Biegefestigkeit und E-Modul
- Polymerisationstiefe

Die Methoden zur Prüfung der übrigen Eigenschaften sind nicht in der DIN EN ISO 4049 festgelegt.

Die Prüfungen werkstoffrelevanter Eigenschaften werden durchgehend mit den Temperaturen 40 °C (Ease-It™), 50 °C (Ease-It™) und 68 °C (Calset™), sowie mit der Raumtemperatur (RT) als Referenzwert durchgeführt.

Die Vorbereitung der Komposite ist für die folgenden Prüfungen identisch: Auspresskräfte aus Karpule, Konsistenz, Initialklebrigkeit, Biegefestigkeit und E-Modul, Schrumpf, Schrumpfspannung, Polymerisationstiefe, Verarbeitungszeit sowie Umsatz der Doppelbindungen. Das Verfahren wird bei jedem der vier Komposite angewendet.

Entsprechend des Ergebnisses der Prüfung des Temperaturverlaufs in Karpule und Heizgerät wird das jeweilige Komposit für 10 Minuten in das auf Temperatur gebrachte Vorwärmgerät gebracht. Nach 10 Minuten wird das Material dem Gerät entnommen und die jeweilige Prüfung durchgeführt.



Abb. 4-7: Allg. Versuchsvorbereitung der Komposite

4.2.4 Auspresskräfte aus Karpule

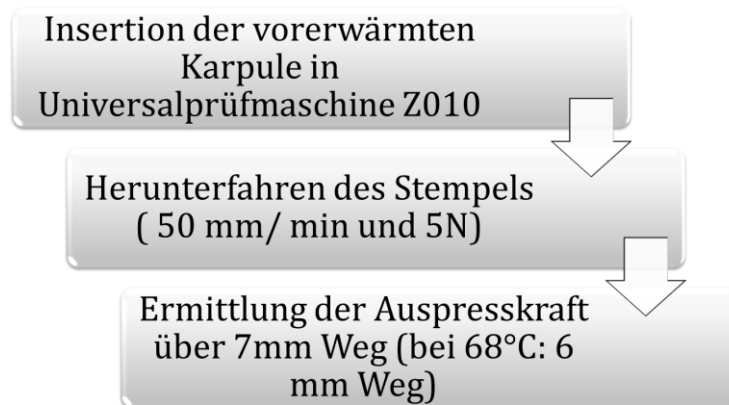


Abb. 4-8: Versuchsablauf Auspresskräfte aus Karpule

Zur Messung der Auspresskräfte [N] aus den Karpulen werden diese in den vorgeheizten Geräten 10 Minuten erwärmt, um die entsprechende Arbeitstemperatur zu erlangen.

Je eine Karpule wird aus der entsprechenden Vorerwärmungseinrichtung entnommen und in die Universalprüfmaschine Z010 (Fa. Zwick) inseriert. Der Stempel fährt mit einer Prüfgeschwindigkeit von 50 mm/min und einer Vorkraft von 5 N auf das hintere mit einem Kunststoffstopfen verschlossene Ende der Karpule. Dieses wird durch den dadurch ausgeübten Druck über einen Weg von 7 mm, bei Temperaturen von 68 °C über 6 mm, in das Lumen der Karpule hinein gepresst. Neben dem Prüfweg ändert sich bei Karpulen, die auf 68 °C erwärmt wurden, auch die Vorkraft auf 0,5 N.

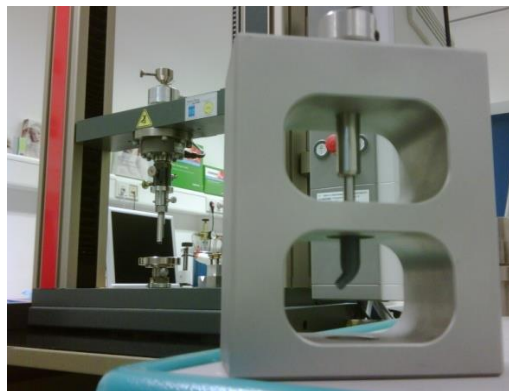


Abb. 4-9: Universalprüfmaschine Z010 zur Messung der Auspresskraft

Die Kraft [N], die der Stempel während des Auspressvorgangs ausübt, wird über den Weg von 7 mm, bzw. 6 mm aufgezeichnet und der Maximalwert ermittelt.

Die grafische Darstellung erfolgt mit Hilfe des Softwareprogrammes testXpert V10.11 des Herstellers (Zwick Roell AG). Der Mittelwert wird aus jeweils 10 Versuchsdurchläufen errechnet.

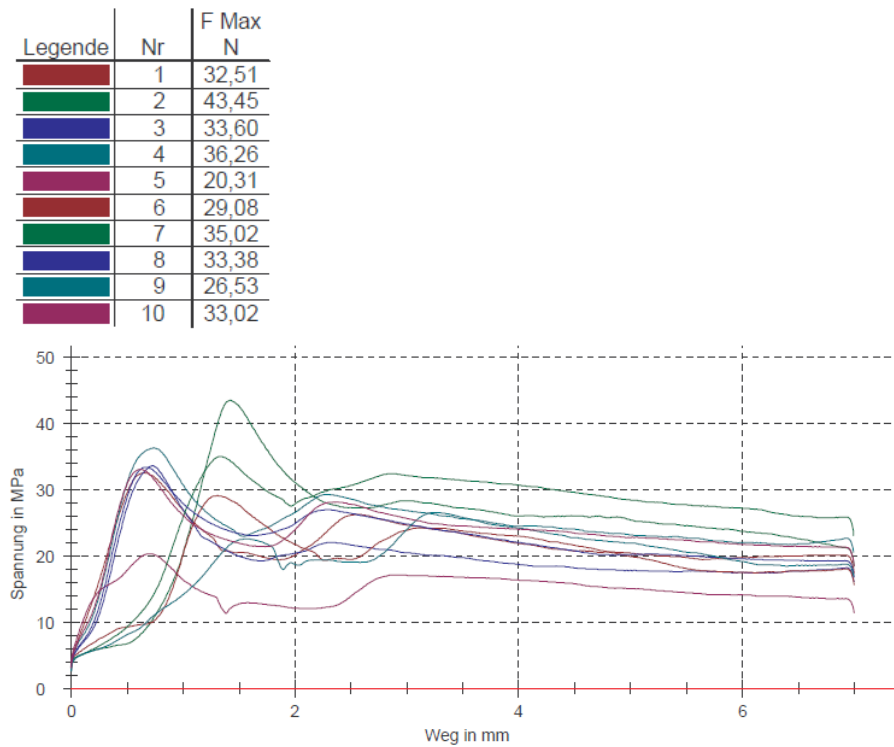


Abb. 4-10: Grafische Darstellung der Auspresskraft am Bsp. von Venus Diamond 50 °C

4.2.5 Festigkeit und Initialklebrigkeit

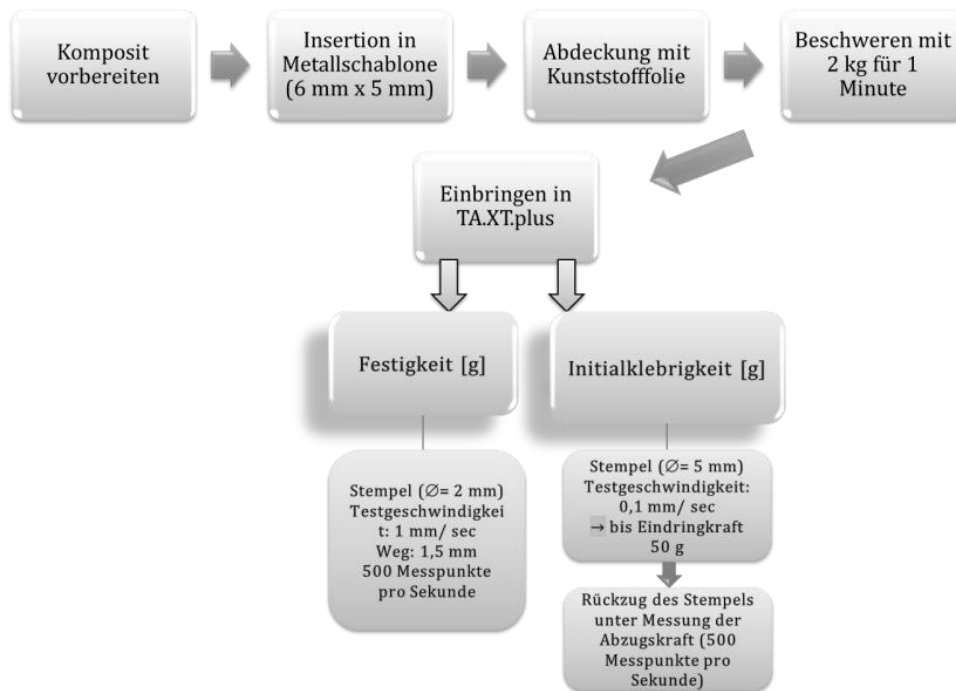


Abb. 4-11: Versuchsablauf Festigkeit und Initialklebrigkeit

Die Prüfungen von Festigkeit [g] und Initialklebrigkeit [g] haben einen identischen, aber voneinander unabhängigen Versuchsablauf. Zur Vorbereitung der Prüfungen wird das jeweilige Material aus Spritzen in einem Strang entnommen und in den Vorerwärmungsgeräten auf die entsprechenden Temperaturen (40 °C, 50 °C, 68 °C) gebracht. Die Messung des Materials bei Raumtemperatur dient wieder als Referenzwert. Von den Kompositsträngen wird jeweils mit einem Skalpell ein ca. 0,8 cm langes Stück abgetrennt und in die Bohrung einer Metallplatte mit den Maßen 6 x 5 mm eingebracht. Dabei ist ein Ausüben von Druck zu vermeiden.

Die untere Fläche der Metallplatte ist durch einen Kunststoffsockel umfasst und somit ist die untere Öffnung der Bohrung verschlossen. Nach Einbringen des Komposits wird die obere Öffnung durch eine Kunststoffolie abgedeckt und mit einem Metallgewicht von 2 kg für eine Minute beschwert.



Abb. 4-12: durch Metallgewicht beschwerter Kunststoffsockel

Dieser Vorgang ermöglicht eine Homogenität innerhalb des Materials. Das überschüssige Material wird nach Ablauf der Minute und Entfernung der Kunststofffolie mit einer scharfen Rasierklinge abgetragen. Die Probe wird nun mit der unverdeckten Öffnung nach oben unter den Texture analyser TA.XT.plus (Fa. Winopal) gelegt und fixiert.



Abb. 4-13: Texture analyser TA.XT.plus (Fa. Winopal)

Zur Bestimmung der Festigkeit fährt ein zylinderförmiger Stempel aus Edelstahl ($\varnothing = 2 \text{ mm}$) mit einer Geschwindigkeit von $0,5 \text{ mm/sec}$ auf die Probe herab. Die Auslösekraft der Messung beträgt 5 g , die Testgeschwindigkeit 1 mm/sec . Die Penetrationsgegenkraft $[\text{g}]$ wird als Maß der Konsistenz über einen Weg von $1,5 \text{ mm}$

gemessen. Dabei werden 500 Messpunkte pro Sekunde festgehalten. Gemessen wird die einer festgelegten Eindringtiefe entgegengesetzte Kraft in Gramm. Nach Beendigung der Prüfung fährt der Stempel mit einer Geschwindigkeit von 3 mm/sec in seine Ausgangsposition zurück.

Als Maß für die Initialklebrigkeit wird die Abzugskraft [g] bestimmt. Der dafür vorgesehene Stempel aus Edelstahl ($\varnothing = 5 \text{ mm}$) fährt mit einer Geschwindigkeit von 0,1 mm/sec auf die Probe herab. Die Auslösekraft der Messung beträgt wieder 5 g, die Testgeschwindigkeit 0,1 mm/sec. Der Stempel dringt bis zu einer Kraft von 50 g in die Probe ein. Ist diese erreicht, zieht sich der Stempel unter Messung der Abzugskraft [g], gemessen in 500 Punkten pro Sekunde, zurück. Nach Beendigung der Prüfung fährt der Stempel wieder mit einer Geschwindigkeit von 3 mm/sec in seine Ausgangsposition zurück.

Pro Material und Temperatur werden jeweils sechs Proben getestet. Die grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgt durch das Softwareprogramm des Texture analyser TA.XT.plus.

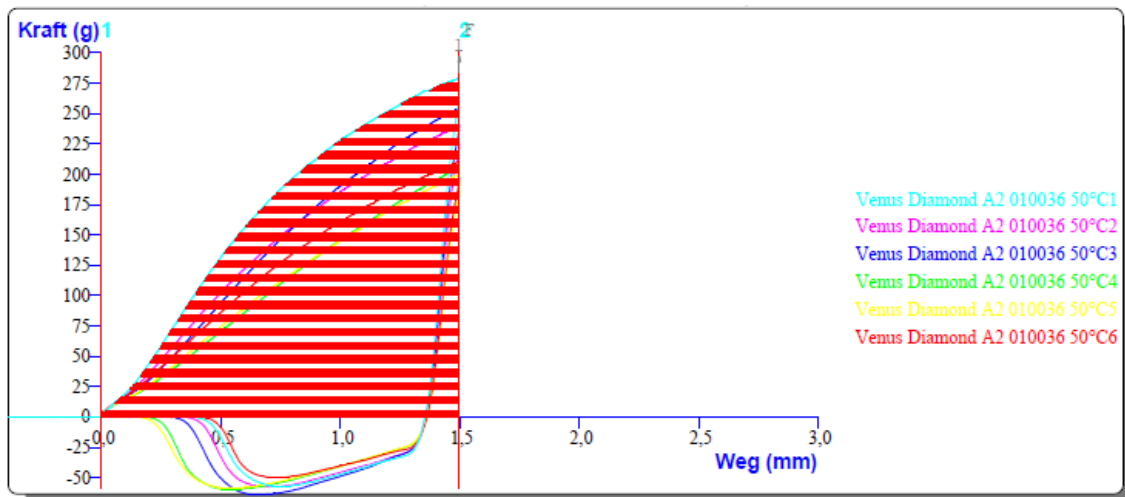


Abb. 4-14: Grafische Darstellung der Konsistenz am Bsp. von Venus Diamond 50 °C

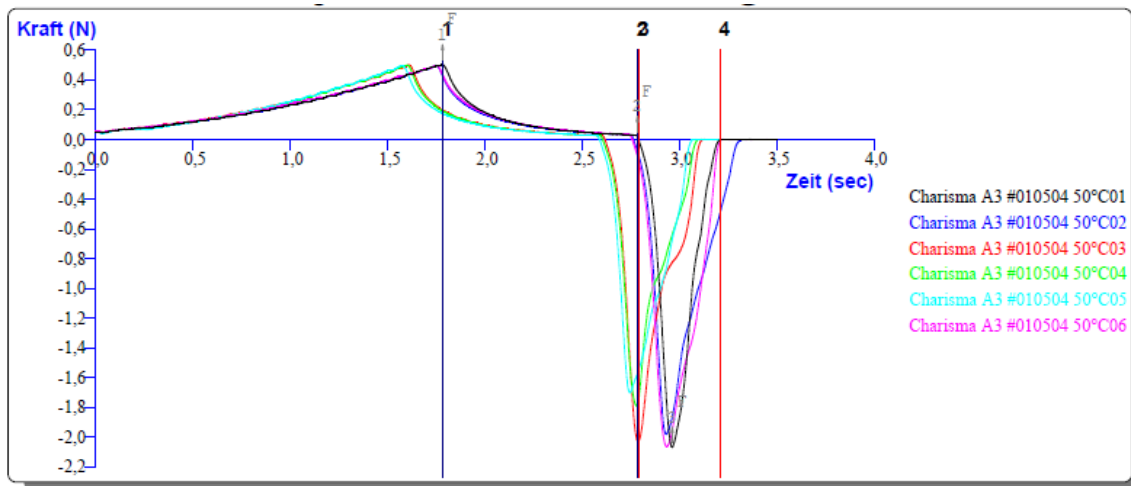


Abb. 4-15: Grafische Darstellung der Initialklebrigkeit am Bsp. von Charisma 50 °C

4.2.6 Biegefestigkeit und E-Modul

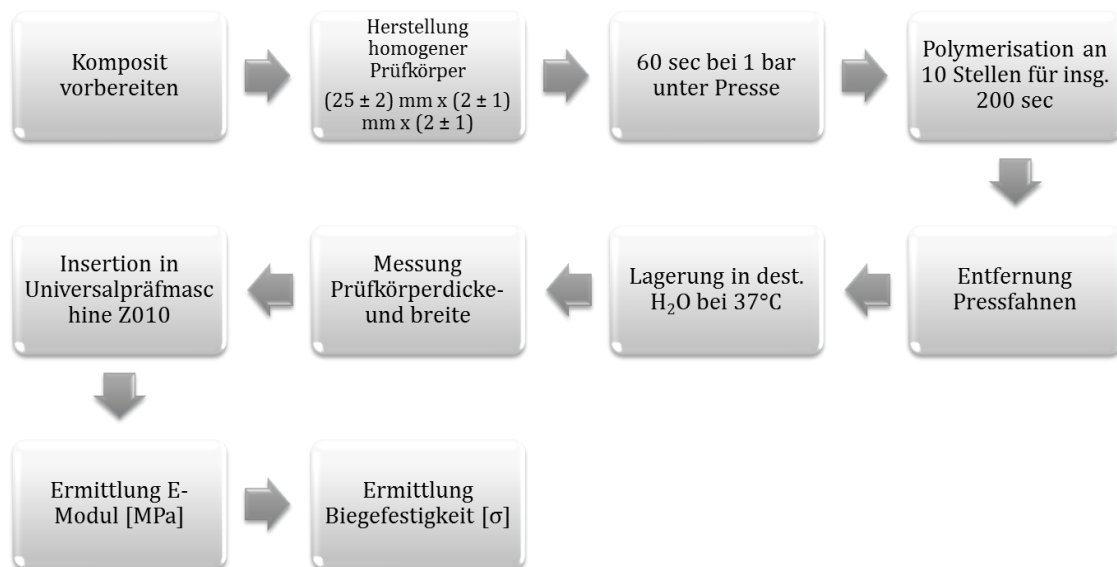


Abb. 4-16: Versuchsablauf Biegefestigkeit und E-Modul

Die Prüfung wird gemäß EN ISO 4049 durchgeführt. Die Biegefestigkeit [MPa] wird im Drei-Punkt-Biegeversuch bestimmt. Nach der Norm haben die Probekörper die Dimensionen $(25 \pm 2) \text{ mm} \times (2 \pm 1) \text{ mm} \times (2 \pm 1) \text{ mm}$ [13].

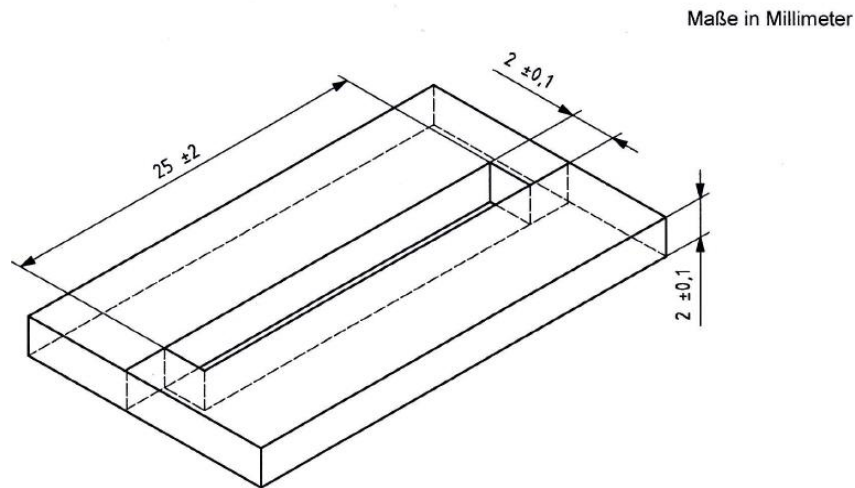


Abb. 4-17: Form zur Herstellung der Biegefestigkeitsprobekörper [13]

Pro Form können jeweils fünf Stäbchen mit den geforderten Maßen hergestellt werden. Diese Formen aus nichtrostendem Stahl bestehen aus einer Bodenplatte mit zwei seitlichen Erhöhungen von 2 mm, zwei festschraubbaren Enden und 6 einlegbaren Plättchen. Nach Anbringung der schraubbaren Teile wird eine strahlendurchlässige Kunststoffolie auf die untere Platte gebracht und die einzelnen Plättchen eingelegt, sodass fünf Leerräume entstehen. Die Schrauben werden vollständig angezogen und das Prüfmaterial homogen eingebracht.

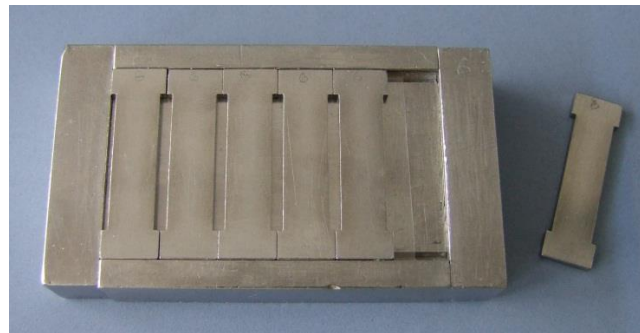


Abb. 4-18: Form zur Herstellung von fünf Probestäbchen

Überschüssiges Material wird vorsichtig entfernt und die Form mit einer passenden Kunststoffolie bedeckt. Nun wird die Form für 60 Sekunden bei 1 bar unter eine Presse gelegt.

Mit der Polymerisationslympe Translux Energy (Heraeus) wird jeder Prüfkörper an fünf Stellen so bestrahlt, dass sich überlappende Bereiche entstehen. Nachdem alle Prüfkörper von der einen Seite polymerisiert sind, werden diese in ihrer Ge-

samtheit mit den Metallzwischenplättchen gewendet und im analogen Verfahren bestrahlt. So wird der Prüfkörper auf beiden Seiten insgesamt 200 Sekunden bestrahlt.

Nach der Polymerisation werden die Prüfkörper der Form entnommen und entstandene Pressfahnen mit einer Rasierklinge entfernt. Die Prüfkörper werden für 24 Stunden bei 37 °C in destilliertem Wasser gelagert.



Abb. 4-19: Universalprüfmaschine Z010 (Fa. Zwick)

Vor dem Einbringen des einzelnen Prüfkörpers in die Prüfvorrichtung werden die Prüfkörperdicke (Abstand zwischen den bestrahlten Seiten) und die Prüfkörperbreite (Abstand zwischen den unbestrahlten Seiten) gemessen. Die Prüfkörper werden in die Universalprüfmaschine Z010 (Fa. Zwick) so eingebracht, dass sie mit der bestrahlten Seite nach oben auf den zu einander parallelen Auflagern positioniert sind. Die Stützlastweite beträgt 20 mm, die Auflager haben eine Breite von 1 mm und die sich senkende Druckfinne hat einen Radius von 1 mm. Die Druckfinne fährt mit einer Vorlast von 0,4 N und einer Prüfgeschwindigkeit von 0,75 mm/min zentral auf den Prüfkörper nieder.

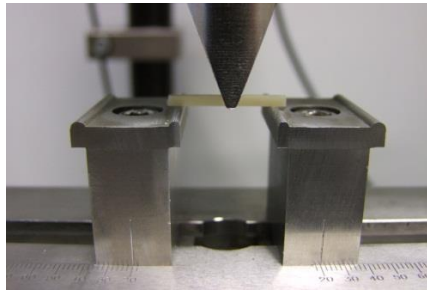


Abb. 4-20: Eingebrachter Prüfkörper zu Beginn der Belastung

Nach dem Start wird zunächst der E-Modul [MPa] ermittelt, danach wird die Biegefestigkeit [σ] bis zum Bruch bestimmt.

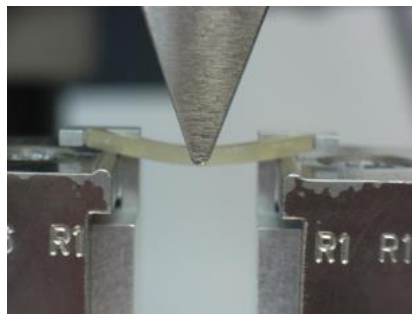


Abb. 4-21: Eingebrachter Prüfkörper während der Belastung

$$\text{E-Modul: } E = \frac{l^3}{4bh^4} \times \frac{F}{Y}$$

l = Abstand zwischen den Auflagern [mm]

b = Breite des Prüfkörpers [mm]

h = Höhe des Prüfkörpers [mm]

$\frac{F}{Y}$ = Steigung im linearen Teil der Spannungs-Dehnungskurve

$$\text{Biegefestigkeit: } \sigma = \frac{3FL}{2bh^2}$$

F = maximale Kraft bis zum Bruch [N]

l = Abstand zwischen den Auflagern [mm]

b = Breite des Prüfkörpers [mm]

h = Höhe des Prüfkörpers [mm]

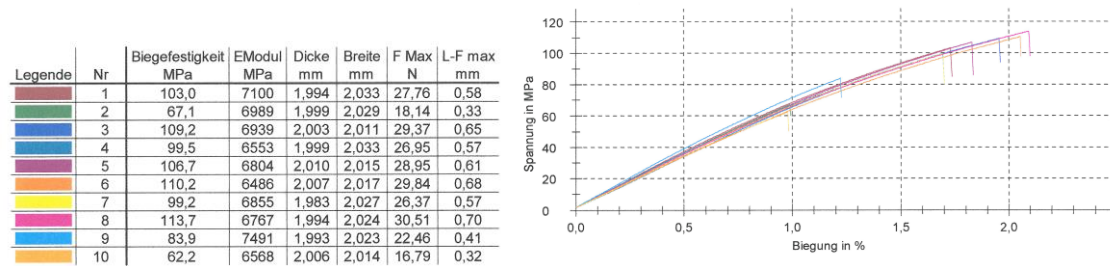


Abb. 4-22: Grafische Darstellung der Biegefestigkeit am Bsp. von Charisma 50° C

4.2.7 Volumenschrumpf

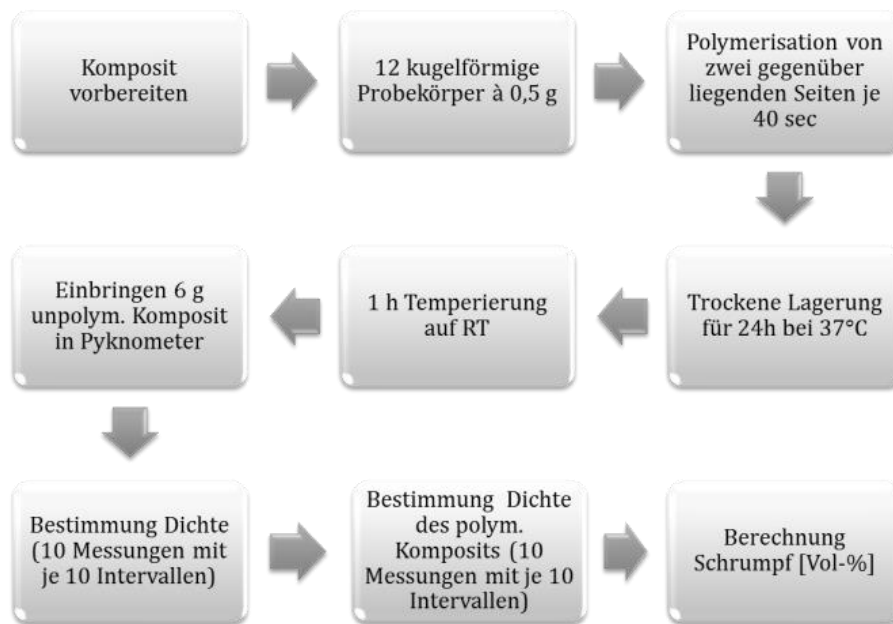


Abb. 4-23: Versuchsablauf Schrumpf

Der Schrumpf [Vol-%] wird mit Hilfe des AccuPyc 1340 Helium Pyknometer (Micromeritics GmbH) bestimmt. Dieses Gerät verwendet das Prinzip der Gasverdrängung um die Reindichte zu ermitteln. Das AccuPyc 1340 Pyknometer bestimmt die Dichte und das Volumen durch die Änderung des Heliumdrucks [64].



Abb. 4-24: AccuPyc 1340 Helium Pyknometer (Micromeritics GmbH)

Pro Komposit und Temperatur werden 12 kugelförmige Probekörper vorbereitet, die zusammen eine Masse von ca. 6 g ergeben. Die Probekörper haben dementsprechend jeweils eine Masse von 0,5 g und werden mit der Polymerisationslampe Translux Energy (Heraeus) von zwei gegenüberliegenden Seiten für je 40 Sekunden belichtet. Danach werden diese Probekörper für 24 Stunden bei 37 °C trocken aufbewahrt. Nachdem sie aus dem Wärmeschrank entnommen wurden, werden sie für 1 Stunde bei Raumtemperatur gelagert.

Eine Prüfung des unpolymersierten Materials wird durchgeführt, indem ca. 6 g des Komposits mit der Analysenwaage AT 261 DeltaRange (Mettler-Toledo) auf vier Kommastellen gewogen wird. Das Gewicht wird zur Bestimmung der Dichte in das Pyknometer eingegeben. Das Material wird unpolymersiert in den zum AccuPyc 1340 gehörenden Metallzylinder mit den Maßen $\varnothing = 18 \text{ mm}$ und Höhe = 40 mm inseriert. Die Prüfung wird gestartet, das Gerät mit einem Druck von 34,5 Pa mit Helium geflutet und die Dichte der Probe ermittelt. Das Gerät führt selbstständig 10 Messungen mit je 10 Intervallen durch. Nach Ende der Messung kann die ermittelte Dichte sowie Standardabweichung übernommen werden.



Abb. 4-25: Probebehälter neben dem luftdicht verschließbaren Prüfraum

Die 12 temperierten Probekörper werden mit der o.g. Waage gewogen und nun anstatt des unpolymersierten Materials in den metallenen Probebehälter gegeben. Die Messung wird erneut gestartet und so Dichte und Standardabweichung ermittelt. Der Volumenschrumpf [Vol-%] wird mit folgender Formel berechnet:

$$\tilde{n} = \frac{(\tilde{n}_{poly} - \tilde{n}_{umpoly})}{\tilde{n}_{poly}}$$

\tilde{n} = Dichte [g/cm³]

4.2.8 Schrumpfkraft

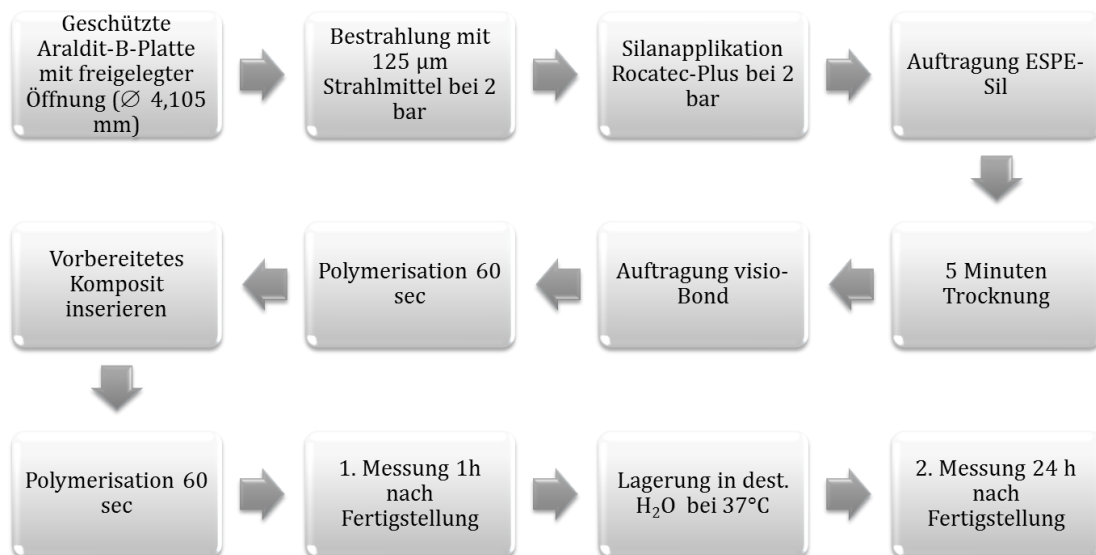


Abb. 4-26: Versuchsablauf Schrumpfkraft

Bei dem benötigten Prüfkörper handelt es sich um eine 4 mm dicke Araldit-B-Platte (Tiedemann & Betz GmbH & Co. KG) in deren Mitte eine Öffnung mit dem Durchmesser von 4,105 mm gebohrt ist.

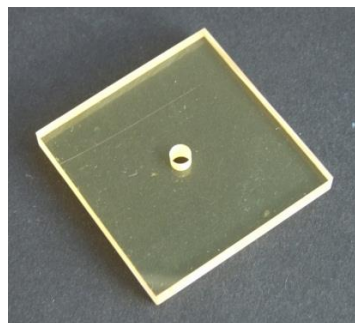


Abb. 4-27: Araldit-B-Platte (Tiedemann & Betz GmbH & Co. KG)

Die Oberfläche wird beidseits mit Paketklebeband versehen und dadurch geschützt. Nur die Öffnung wird freigelegt. Die Wände der Innenbohrung werden mit 125 μm Strahlmittel (Heraeus Kulzer GmbH) und bei 2 bar bestrahlt. Daraufhin erfolgt eine Silanapplikation mit Rocatec-Plus (3M ESPE) bei ebenfalls 2 bar. Die nun durchgeführte Behandlung der Oberfläche mit ESPE Sil (3M ESPE) bedarf einer fünfminütigen Trocknung. Die Oberfläche wird mit Visio™-Bond (3M-ESPE) benetzt und für 60 Sekunden mit einer Polymerisationslampe (Translux Energy (Heraeus Kulzer GmbH)) polymerisiert.

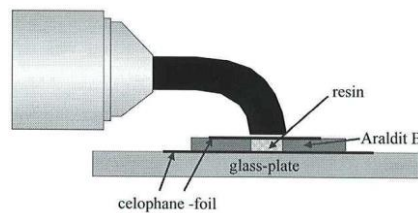


Abb. 4-28: Querschnitt Araldit-B-Platte während der Polymerisation [19]

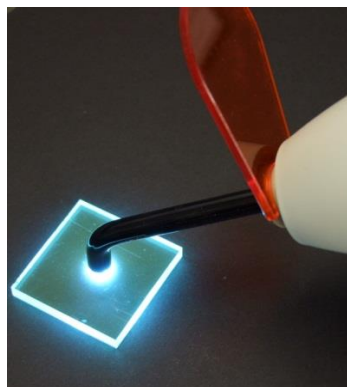


Abb. 4-29: Polymerisation des Komposits in Araldit-B-Platte durch Translux Energy (Heraeus Kulzer GmbH)

Pro Komposit und pro Temperatur werden 3 Prüfkörper vorbereitet, d.h. es besteht insgesamt ein Bedarf an 48 vorbehandelten Araldit-B-Platten. Nach dieser Vorbehandlung der Prüfkörper werden die vier verschiedenen Komposite (Charisma, Venus Diamond, Tetric EvoCeram, Kalore) auf die vier festgelegten Temperaturen (RT, 40 °C, 50 °C, 68 °C) gebracht. Das Lumen der Platten wird nach unten mit einer Kunststoffolie abgedeckt, das Komposit wird inseriert und ebenfalls mit einer Kunststoffolie bedeckt und für 60 Sekunden mit der o. g. Polymerisationslampe belichtet.

Die erste Messrunde erfolgt eine Stunde nach Fertigstellung der Prüfkörper. Diese werden nacheinander unter dem Lichtmikroskop Steri 2000 (Zeiss) mit einem Filter (Qioptiq Photonics GmbH & Co. KG) betrachtet und mit Hilfe der Software Motic Images Plus 2.0 ML (Motic Deutschland GmbH) festgehalten. Die Auswertung erfolgt mit Hilfe des Softwareprogramms.

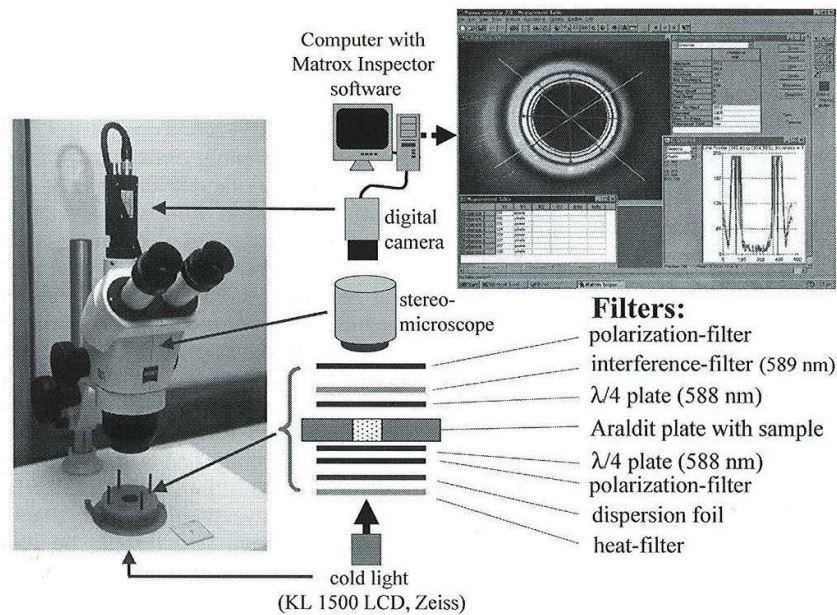


Abb. 4-30: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Darstellung der Schrumpfspannung mittels spannungsoptischer Methode [19]

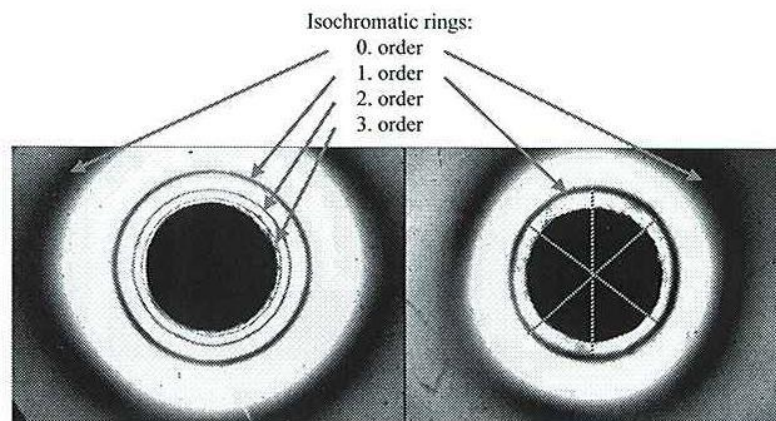


Abb. 4-31: Entstandene Isochromatenringe [19]

Pro Aufnahme erfolgen dafür von drei verschiedenen Stellen vom 1. Spannungsring ausgehende, sich mittig kreuzende Messungen, die den Durchmesser wiedergeben. Die drei Werte werden gemittelt.



Abb. 4-32: Lichtmikroskop Steri 2000 (Zeiss)

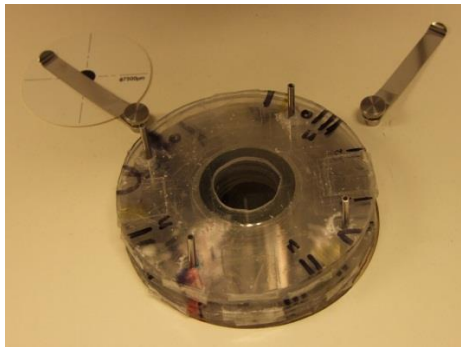


Abb. 4-33: Filter des Lichtmikroskops

Die Prüfkörper werden 24 Stunden nach der Insertion des Komposits und Lagerung in destilliertem Wasser bei 37 °C erneut unter das Lichtmikroskop gelegt und die Spannungsringe 1. Ordnung ausgewertet. Die Schrumpfkraft [σ_0] wird mit folgender Formel berechnet:

$$\sigma_0 = \delta_x \frac{D_x^2}{D_i^2} \frac{f_\sigma}{2d}$$

σ_0 = Polymerisationsschrumpfkraft

δ_x = Ordnung des Isochromatenringes

D_x^2 = Durchmesser des Isochromatenringes ² [mm²]

D_i^2 = Durchmesser der Kompositprobe ² [mm²]

f_σ = Spannungsoptische Konstante [N/mm]

d = Probendicke [mm]

Da:

D_i^2 (Durchmesser der Kompositprobe) 5 mm

f_σ (Spannungsoptische Konstante) 10,5 N/mm

d (Probendicke) 3 mm

= konstant: Zusammenfassung in Konstante „k“ möglich:

$$\sigma_0 = k \delta_x D_x^{2x}$$

4.2.9 Polymerisationstiefe

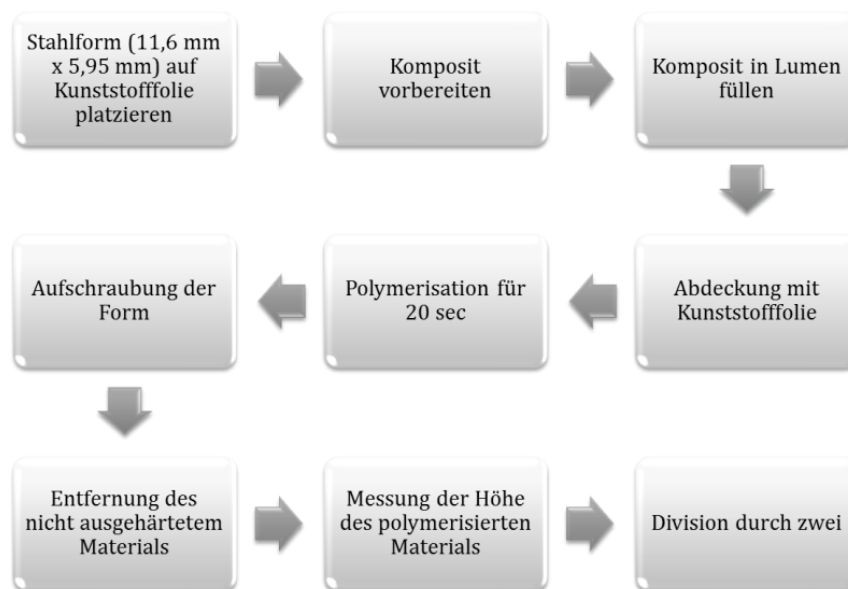


Abb. 4-34: Versuchsablauf Polymerisationstiefe

Die Untersuchung erfolgt gemäß EN ISO 4049.

Für die Prüfung der Polymerisationstiefe [mm] bedarf es einer „Form aus nichtrostendem Stahl für die Herstellung eines zylindrischen Probekörpers“ [13]. Dieser hat folgende Maße: Länge = 11,6 mm; \varnothing = 5,95 mm.



Abb. 4-35: Form zur Herstellung des Probenkörpers zur Messung der Polymerisationstiefe im geschlossenen Zustand

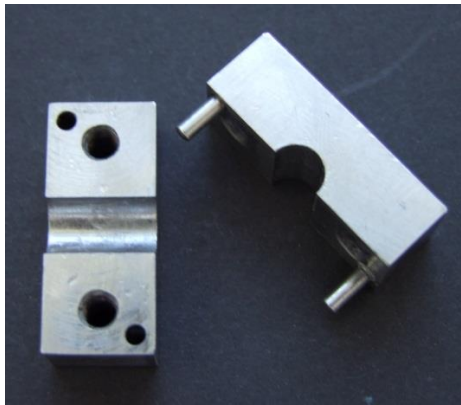


Abb. 4-36: Form zur Herstellung des Probenkörpers zur Messung der Polymerisationstiefe im geöffneten Zustand

Die Form wird mit einer Öffnung nach unten auf eine lichtdurchlässige Kunststofffolie gestellt. Das Material wird möglichst homogen in das Lumen eingefüllt. Die obere Öffnung wird ebenfalls mit einer strahlendurchlässigen Kunststofffolie bedeckt und das Polymerisationsgerät Translux Energy (Heraeus) bündig auf diese Folie aufgesetzt. Die Bestrahlung der Probe erfolgt für 20 Sekunden mit dem Polymerisationsgerät. Die weitere Anordnung des Versuchs richtet sich nach folgenden Vorgaben: „Unmittelbar nach dem Ende der Bestrahlung wird der Probekörper aus der Form entnommen und das nicht ausgehärtete Material wird mit einem Kunststoffspatel [...] entfernt. Die Höhe des Zylinders des polymerisierten Materials wird [...] gemessen und der Wert durch zwei geteilt.“ [13] Zur Messung der Schichtstärke wird ein Messschieber verwendet. Die Prüfung wird bei jeder Temperatur zweimal wiederholt und die Ergebnisse gemittelt.

4.2.10 Umsatz der Doppelbindungen

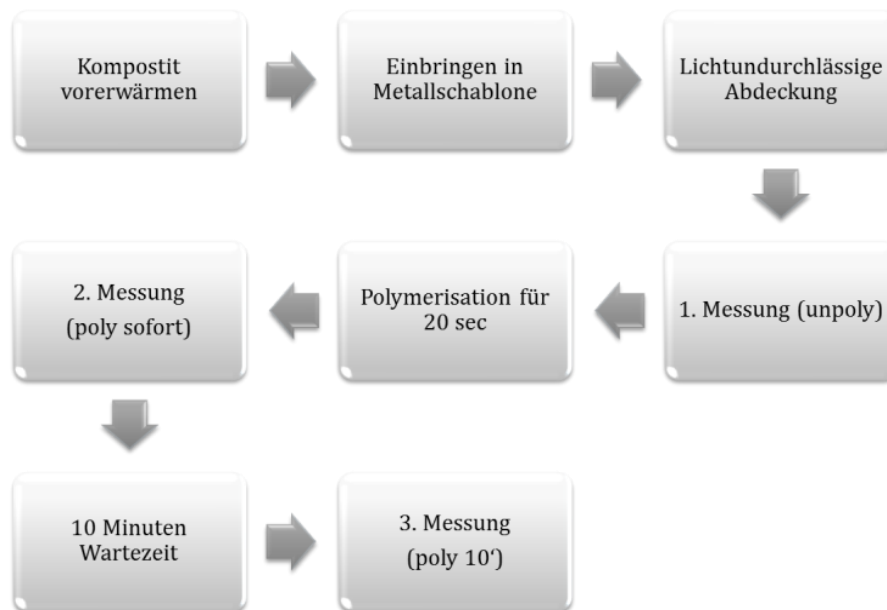


Abb. 4-37: Versuchsablauf Umsatz der Doppelbindungen

Zur Bestimmung des Umsatzes der -C=C- Doppelbindungen [%] wird die Fourier-Transform-IR-Spektroskopie (FT-IR Spektroskopie) eingesetzt. Es wird bei dem Prüfgerät FT-IR Spektroskop (PerkinElmer Inc.) mit ATR (engl. *attenuated total reflection*, dt. abgeschwächte Totalreflexion) gearbeitet. Für die Aufnahme wird ein sich im Gerät befindlicher Diamant verwendet. Eine 2 mm dicke Metallschablone mit einer zentralen Öffnung wird mit dieser über den Diamanten gesetzt.

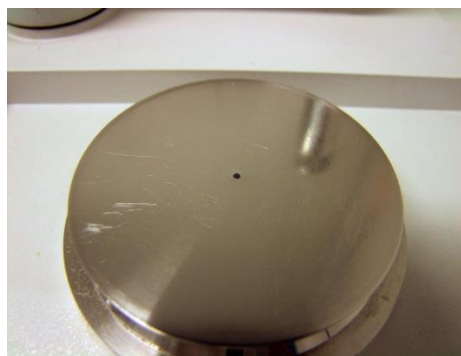


Abb. 4-38: Metallschablone mit Öffnung für das Probenmaterial

In diese Öffnung wird die unpolymerisierte Probe appliziert und mit einer Kunststoffolie abgedeckt. Die Probe wird lichtundurchlässig überdeckt und gemessen.



Abb. 4-39: FT-IR Spektroskop (PerkinElmer Inc.), unverdeckt



Abb. 4-40: FT-IR Spektroskop (PerkinElmer Inc.), bedeckt

Die Lichtleistung der Polymerisationlampe Translux Energy (Heraeus) wird mit dem Cure Rite™ Light Meter (DENTSPLY Caulk) gemessen. Daraufhin erfolgt die Polymerisation für 20 Sekunden mit der Lampe. Diese wird bündig auf die mit der Folie bedeckte Probenoberfläche gesetzt.

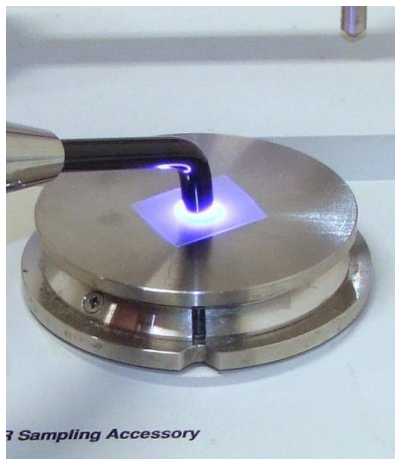


Abb. 4-41: Polymerisation des Probenmaterials

Unmittelbar nach Ende der Polymerisation wird erneut eine Messung gestartet. Eine dritte Messung erfolgt nach 10 Minuten.

Die Auswertung der Prüfungen erfolgt mit dem Programm Spectrum v5.3.1 (PerkinElmer Inc.). Die Konversionsrate wird aus dem Flächenverhältnis von unpolymerisierter zu polymerisierter aliphatischer $\text{C}=\text{C}$ -Bande bei $1643 - 1630 \text{ cm}^{-1}$ ermittelt. Dabei werden die Spektren einzeln ausgewertet. Vor jeder neuen Probe wird der Diamant mit einer Alkohollösung gereinigt und in einem Versuchsdurchlauf auf etwaige Rückstände überprüft. Jeder Versuchsdurchlauf wird einmal wiederholt.

5. Ergebnisse

5.1 Temperaturverlauf Heizgerät

Die Abbildungen 5-1 bis 5-6 stellen den Temperaturverlauf des jeweiligen Vorwärmungsgerätes in den drei dazugehörigen Testreihen bei entsprechender Temperatur dar.

5.1.1 Calset

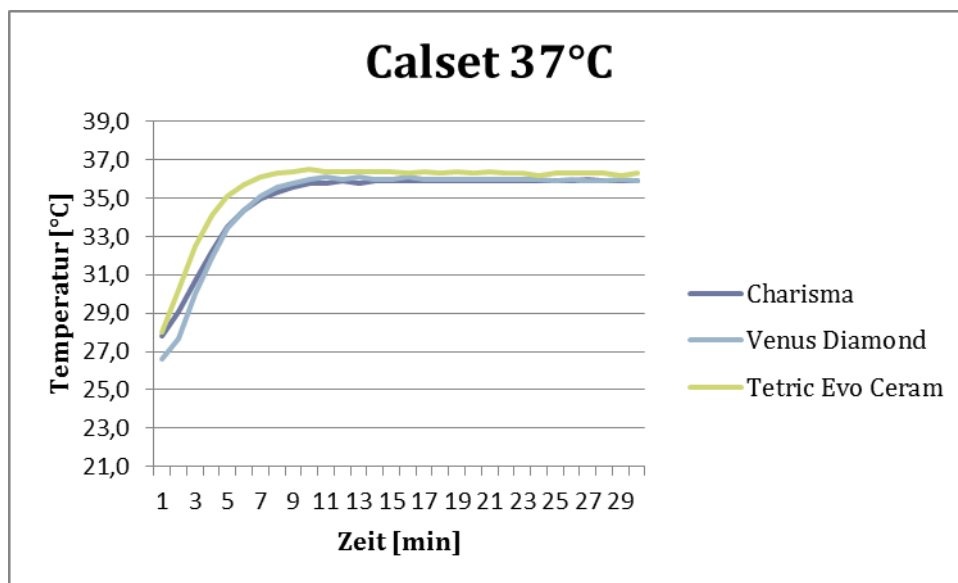


Abb. 5-1: Temperaturverlauf Calset 37 °C

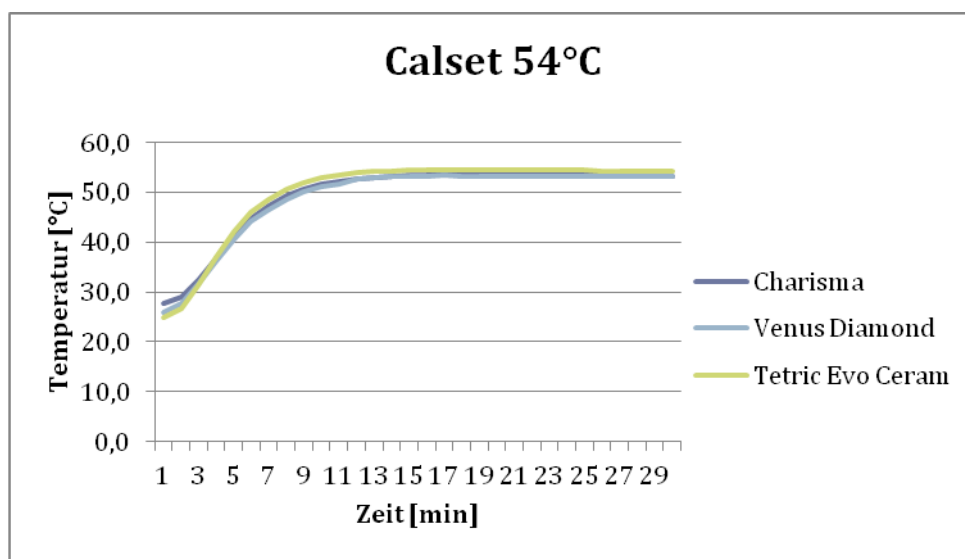


Abb. 5-2: Temperaturverlauf Calset 54 °C

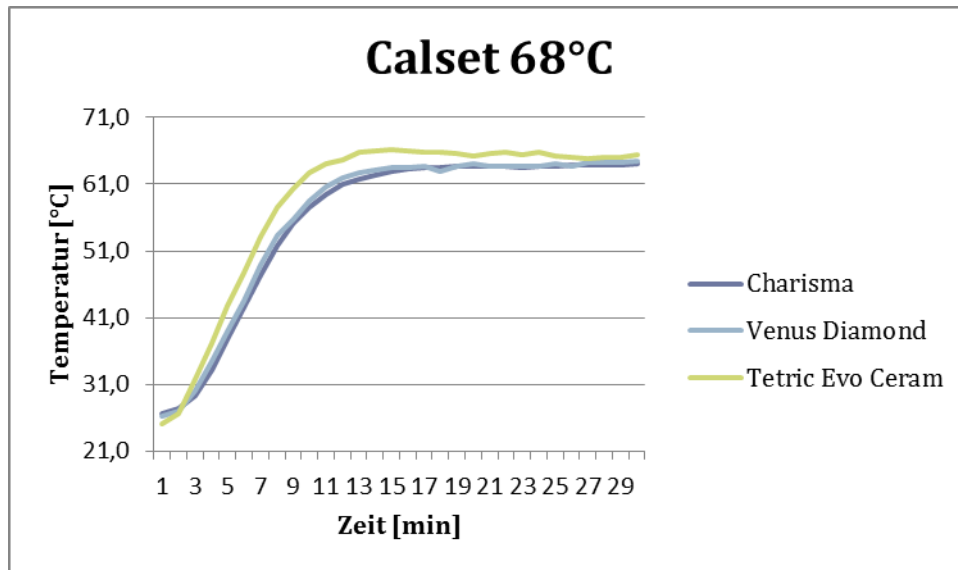


Abb. 5-3: Temperaturverlauf Calset 68 °C

Die dargestellten Ergebnisse der Prüfung der Temperaturen 37 °C, 54 °C und 68 °C des Gerätes Calset zeigen bei den drei jeweiligen Versuchsdurchläufen (Charisma, Vernus Diamond, Tetric EvoCeram) einen ähnlichen Temperaturanstieg. Die vom Hersteller angegebenen Temperaturen werden nicht exakt erreicht, sondern liegen ca. 1 – 3 °C darunter. Nach etwa 10 Minuten ist die Höchsttemperatur erreicht und wird über die Gesamtdauer der Messung gehalten.

5.1.2 Ease-It

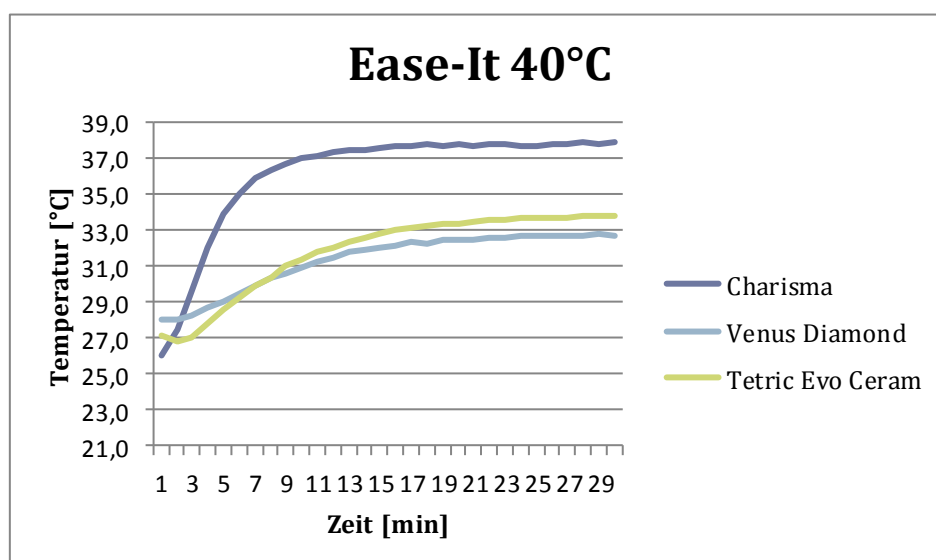


Abb. 5-4: Temperaturverlauf Ease-It 40 °C

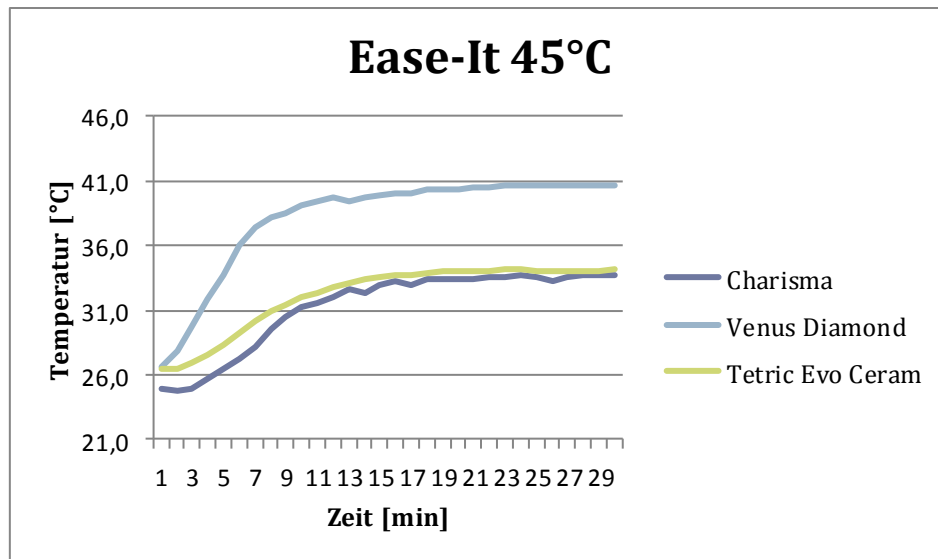


Abb. 5-5: Temperaturverlauf Ease-It 45 °C

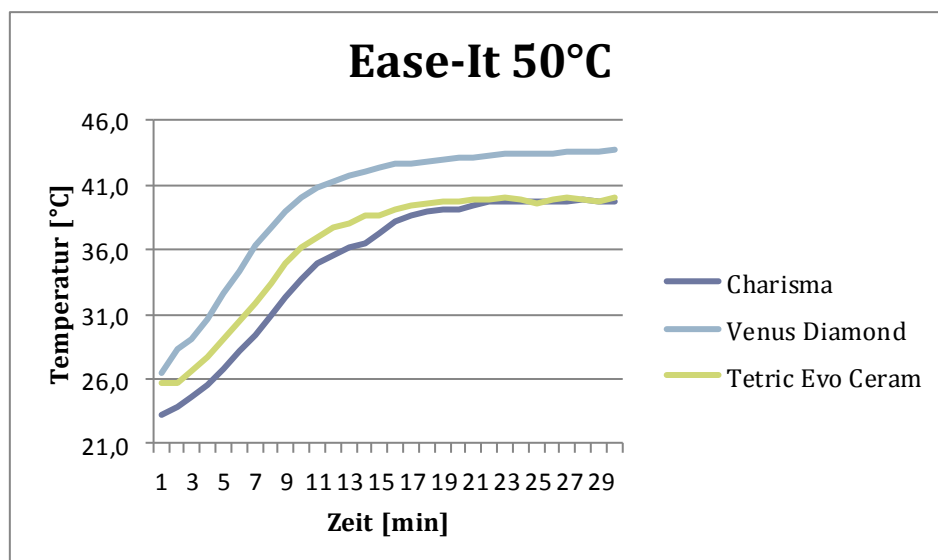


Abb. 5-6: Temperaturverlauf Calset 50 °C

Die Ergebnisse der Prüfung des Heizgerätes Ease-It zeigen starke Abweichungen zwischen den einzelnen Versuchsdurchläufen der drei Composite (Charisma, Venus Diamond, Tetric EvoCeram) innerhalb der einzelnen Prüfungen der drei Temperaturen. Bei der Testreihe 40 °C liegt die gemessene Höchstdifferenz der Endtemperatur zwischen der Messung „Charisma“ und der Messung “Venus Diamond“ bei 5,1 °C. Bei der Testreihe 45 °C liegt diese Höchstdifferenz bei 6,9 °C und bei der Testreihe 50 °C liegt sie bei 3,8 °C. Die vom Hersteller angegebene Temperatur konnte in keinem der Versuchsdurchläufe erreicht werden. Sie liegt bis zu 10 °C darunter.

Bei Betrachtung der einzelnen Verlaufslinien werden kleine Temperaturschwankungen, d.h. Temperaturabfall, innerhalb des Temperaturanstiegs deutlich. Die Höchsttemperaturen werden nach 10 - 12 Minuten erreicht und gehalten.

5.2 Temperaturverlauf Karpule

5.2.1 37 °C (Calset)

Die Abbildungen 5-7 bis 5-9 zeigen die Temperaturverläufe der Kompositkarpule und des Heizgerätes bei der Vorwärmtemperatur 37 °C im Vergleich.

Die in den Grafiken verwendete Abkürzung PLT steht für Karpule.

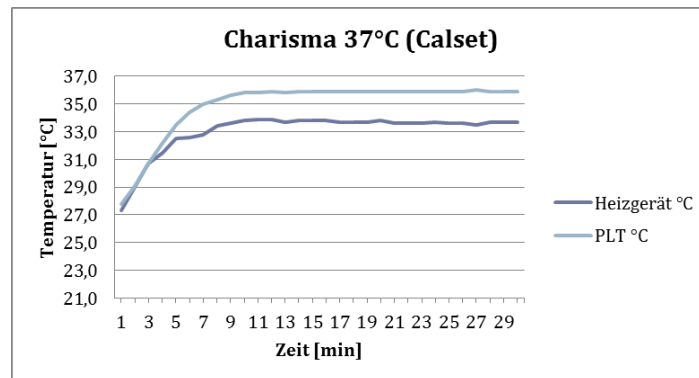


Abb. 5-7: Temperaturverlauf Charisma 37 °C

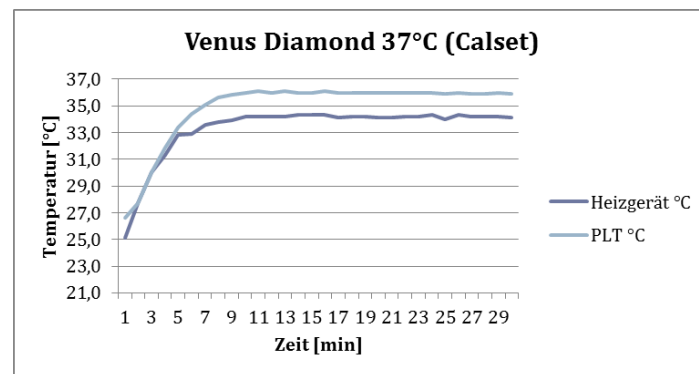


Abb. 5-8: Temperaturverlauf Venus Diamond 37 °C

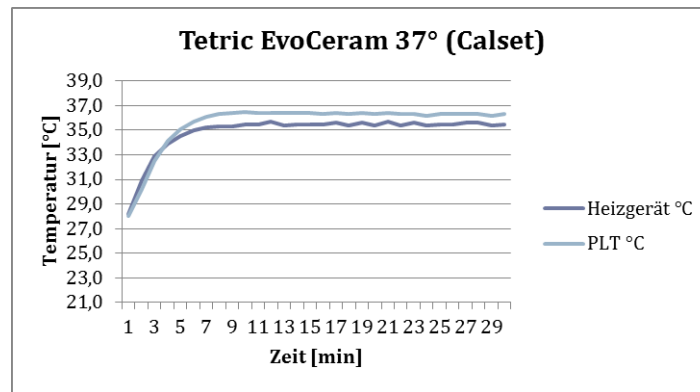


Abb. 5-9: Temperaturverlauf Tetric EvoCeram 37 °C

Die Temperaturverläufe der drei Materialien Charisma, Venus Diamond und Tetric EvoCeram verhalten sich ähnlich. Am Anfang der Aufzeichnung (Minute 1 - 5) ist der Temperaturverlauf von Heizgerät und Karpule annähernd identisch. Daraufhin kann in der Karpule jeweils ein stärkerer Temperaturanstieg im Vergleich zum Heizgerät verzeichnet werden. Zwischen der Endtemperatur der Karpule und der des Heizgerätes liegt eine Differenz von 1,5 – 2 °C.

5.2.2 40 °C (Ease-It)

Die Abbildungen 5-10 bis 5-12 zeigen die Temperaturverläufe der Kompositkarpule und des Heizgerätes bei der Vorwärmtemperatur 40 °C im Vergleich.

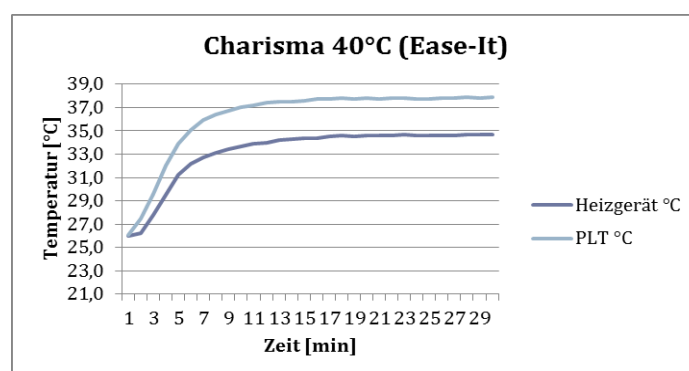


Abb. 5-10: Temperaturverlauf Charisma 40 °C

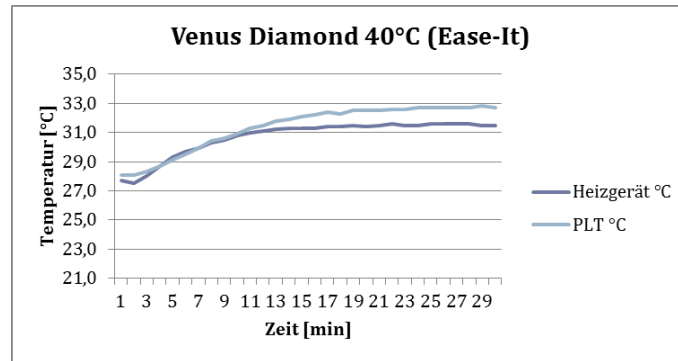


Abb. 5-11: Temperaturverlauf Venus Diamond 40 °C

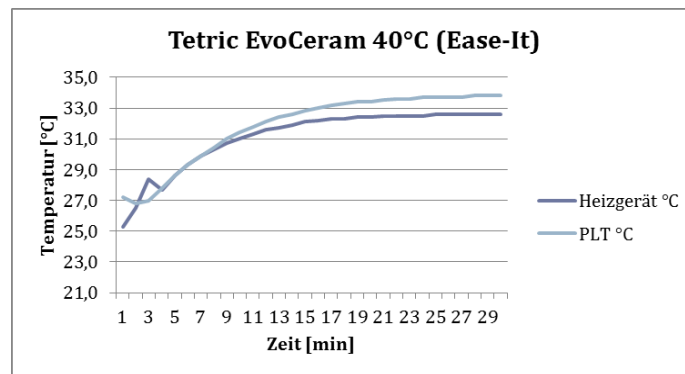


Abb. 5-12: Temperaturverlauf Tetric EvoCeram 40 °C

Charisma weist einen schnelleren Temperaturanstieg und eine höhere Endtemperatur als das Heizgerät im selben Versuch auf. Die Steigungen der Temperatur der Karpule von Venus Diamond und Tetric EvoCeram verlaufen hingegen zunächst gleich mit der des Heizgerätes, nach 9 Minuten steigt die Temperatur der Karpule von Tetric EvoCeram, nach 10 Minuten die von Venus Diamond stärker an als die Temperatur des entsprechenden Heizgerätes. Zwischen der Endtemperatur der Karpule und der des Heizgerätes liegt eine Differenz von 1 – 2 °C.

5.2.3 45 °C (Ease-It)

Die Abbildungen 5-13 bis 5-15 zeigen die Temperaturverläufe der Kompositkarpule und des Heizgerätes bei der Vorwärmtemperatur 45 °C im Vergleich.

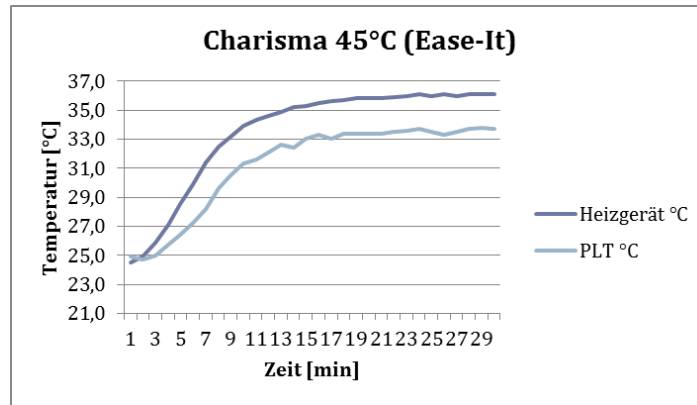


Abb. 5-13: Temperaturverlauf Charisma 45 °C

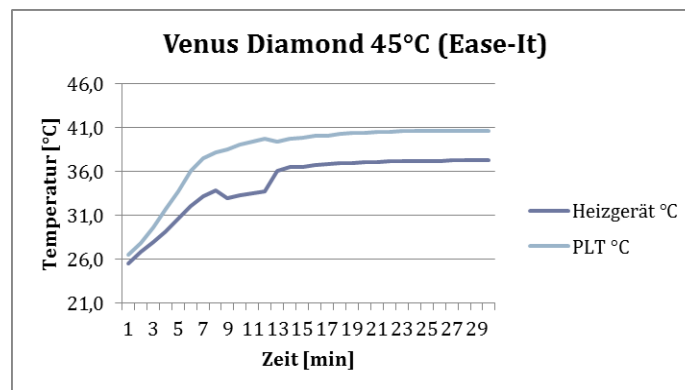


Abb. 5-14: Temperaturverlauf Venus Diamond 45 °C

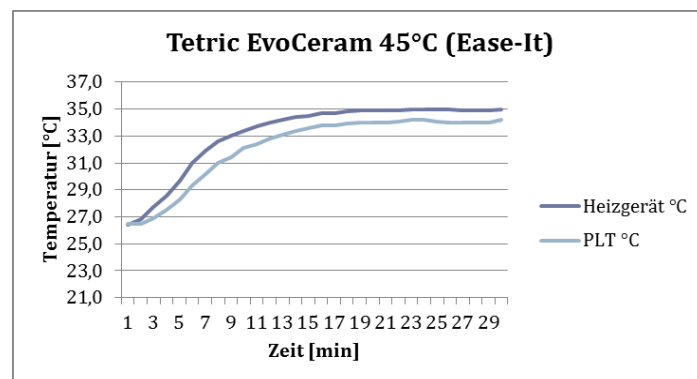


Abb. 5-15: Temperaturverlauf Tetric EvoCeram 45 °C

Die Temperatur der Karpule und die des Heizgerätes verlaufen zu keinem Zeitpunkt der drei Messungen identisch. Bei Charisma und Tetric EvoCeram überschreitet die Temperatur des Heizgerätes die der jeweiligen Karpule. Venus Diamond hingegen weist einen höheren Temperaturverlauf als das Gerät auf. Der Temperaturunterschied der Höchsttemperaturen zwischen dem Heizgerät und der Karpule beträgt bei Charisma 2 °C, bei Venus Diamond 3 °C und bei Tetric EvoCeram 1 °C.

5.2.4 50 °C (Ease-It)

Die Abbildungen 5-16 bis 5-18 zeigen die Temperaturverläufe der Kompositkarpule und des Heizgerätes bei der Vorwärmtemperatur 50 °C im Vergleich.

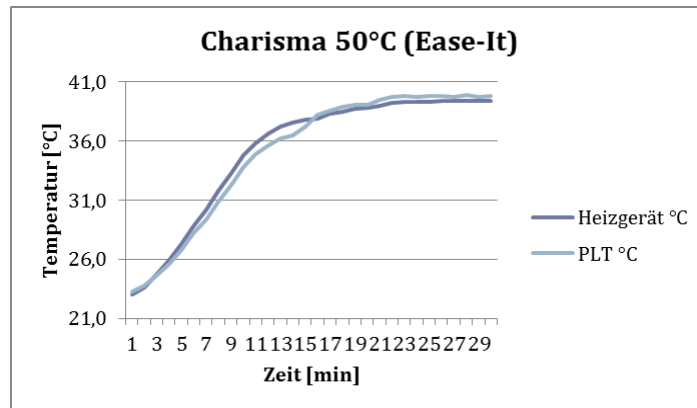


Abb. 5-16: Temperaturverlauf Charisma 50 °C

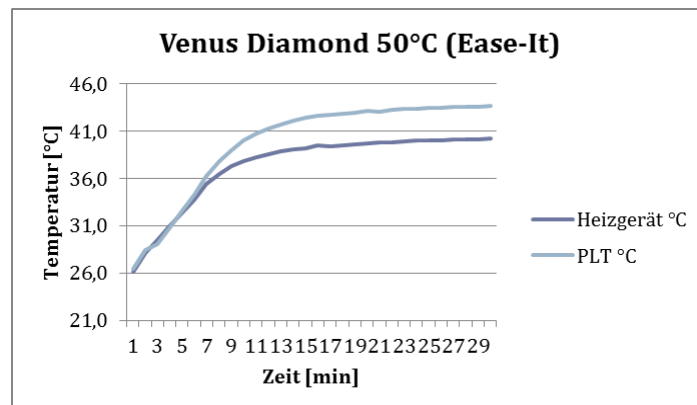


Abb. 5-17: Temperaturverlauf Venus Diamond 50 °C

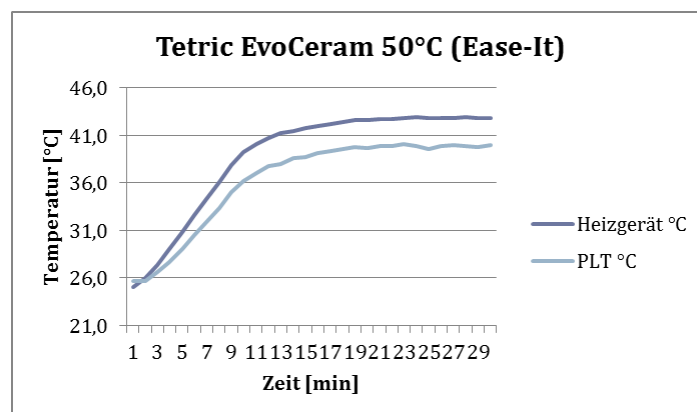


Abb. 5-18: Temperaturverlauf Tetric EvoCeram 50 °C

Einen annähernd identischen Temperaturverlauf zeigt das Heizgerät Ease-It mit der Karpule des Komposits Charisma bei 50 °C. Nach 30 Minuten liegt die erreichte Temperatur bei diesem Versuch jedoch nur bei 40 °C. Im Versuch mit Venus Diamond übersteigt die Endtemperatur der Karpule die des Heizgerätes um 3 °C. Im Versuch mit Tetric EvoCeram übersteigt die Endtemperatur des Heizgerätes die der Karpule ebenfalls um 3 °C.

5.2.5 54 °C (Calset)

Die Abbildungen 5-19 bis 5-21 zeigen die Temperaturverläufe der Kompositkarpule und des Heizgerätes bei der Vorwärmtemperatur 54 °C im Vergleich.

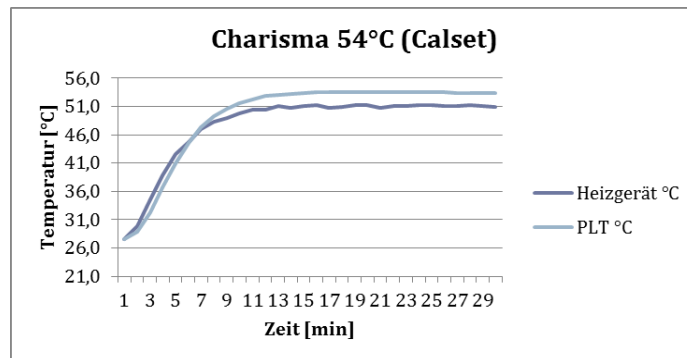


Abb. 5-19: Temperaturverlauf Charisma 54 °C

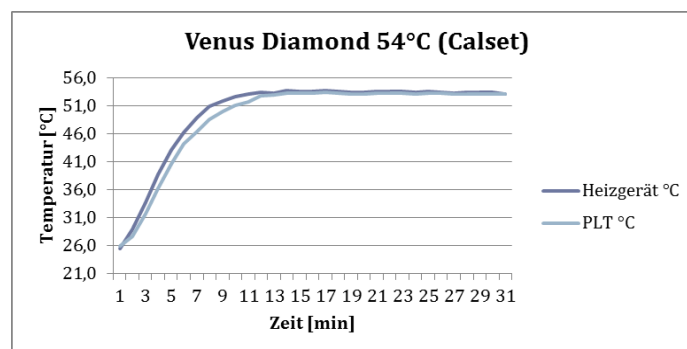


Abb. 5-20: Temperaturverlauf Venus Diamond 54 °C

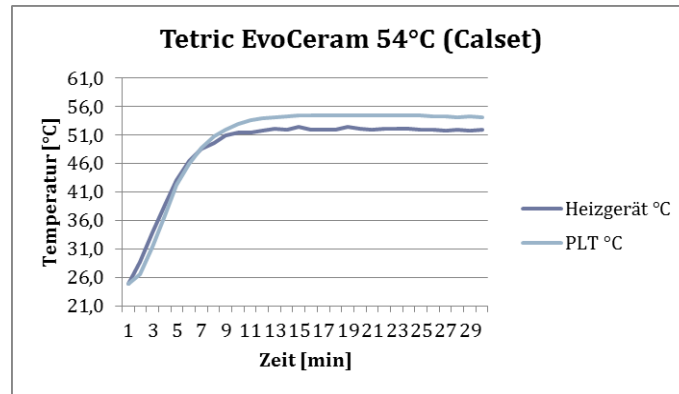


Abb. 5-21: Temperaturverlauf Tetric EvoCeram 54 °C

Die dargestellten Temperaturverläufe des Heizgerätes Calset bei 54 °C und der getesteten Karpulen zeigen eine geringe Abweichung der Endtemperatur des Gerätes und der der Karpule bei dem Versuch mit Charisma und dem mit Tetric EvoCeram. Hierbei liegt die Temperatur der jeweiligen Karpule ca. über der des Gerätes. Bei Venus Diamond hingegen verhalten sich beide dargestellten Temperaturverläufe beim Erreichen einer konstanten Endtemperatur deckungsgleich.

5.2.6 68 °C (Calset)

Die Abbildungen 5-22 bis 5-24 zeigen die Temperaturverläufe der Kompositkarpule und des Heizgerätes bei der Vorwärmtemperatur 68 °C im Vergleich.

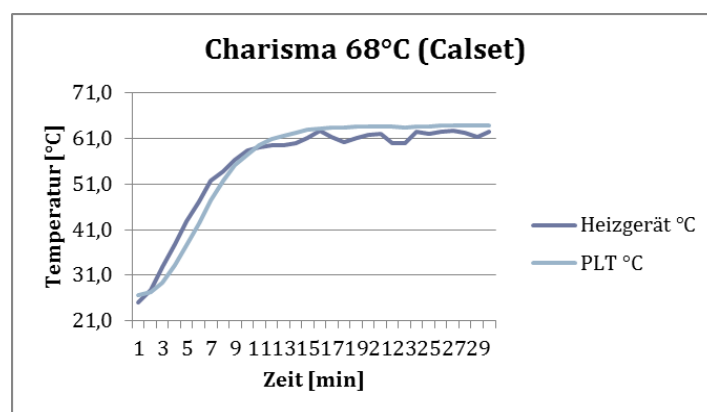


Abb. 5-22: Temperaturverlauf Charisma 68 °C

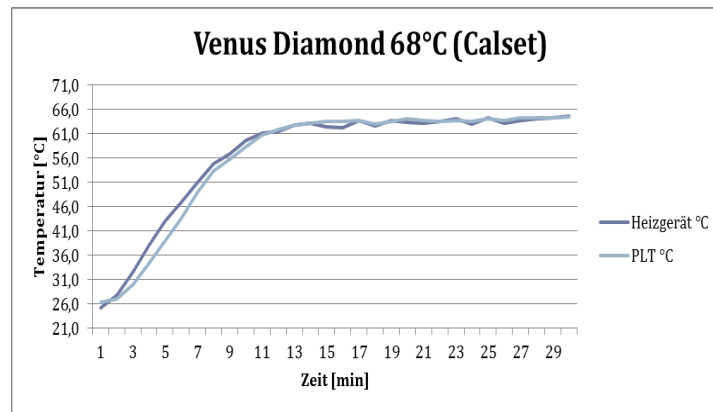


Abb. 5-23: Temperaturverlauf Venus Diamond 68 °C

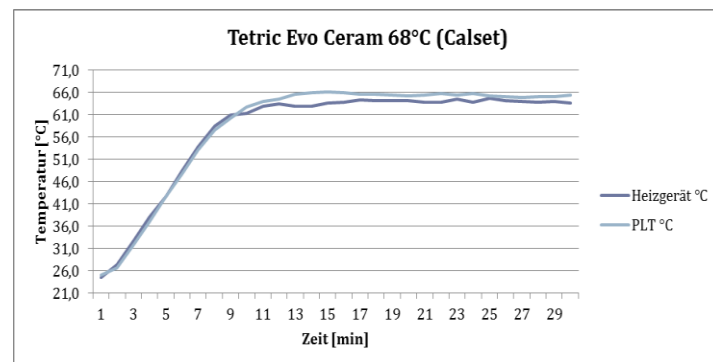


Abb. 5-24: Temperaturverlauf Tetric EvoCeram 68 °C

Mit kleinen Schwankungen im Verlauf des Temperaturanstiegs verhalten sich Heizgerät und Karpule in jeden der drei Versuche ähnlich. Die Abweichungen bei der Endtemperaturen betragen bis zu 1 °C.

5.3 Temperaturverlauf Pulpa

In Tabelle 5-1 sind die ermittelten Werte des Temperaturanstiegs in der Pulpensimulation wiedergegeben. Die Abbildung 5-25 veranschaulicht diese Werte.

Tabelle 5-1: Temperaturverlauf Pulpa

	37 °C	40 °C	45 °C	50 °C	54 °C	68 °C
1 mm	4,5	1,6	1,8	1,6	6,0	10,8
2 mm	2,9	1,6	2,0	2,2	9,7	11,2
3 mm	3,5	1,4	2,1	4,5	11,0	10,3
4 mm	6,4	5,6	8,5	10,4	10,6	12,5

Bei zunehmender Kavitätentiefe und zunehmender Vorwärmtemperatur kommt es, abgesehen von der Vorwärmtemperatur 37 °C, zu einem im Pulpencavum messbaren höheren Temperaturanstieg. Bis zu einer Tiefe von 3 mm und einer Vorwärmtemperatur von bis zu 50 °C liegen die Werte der Temperaturmessung innerhalb der Pulpa des Zahnes zwischen 1,4 °C und 4,5 °C. Ab 54 °C bzw. 4 mm ist ein Temperaturanstieg von 5,6 °C bis zum Höchstwert von 12,5 °C zu verzeichnen.

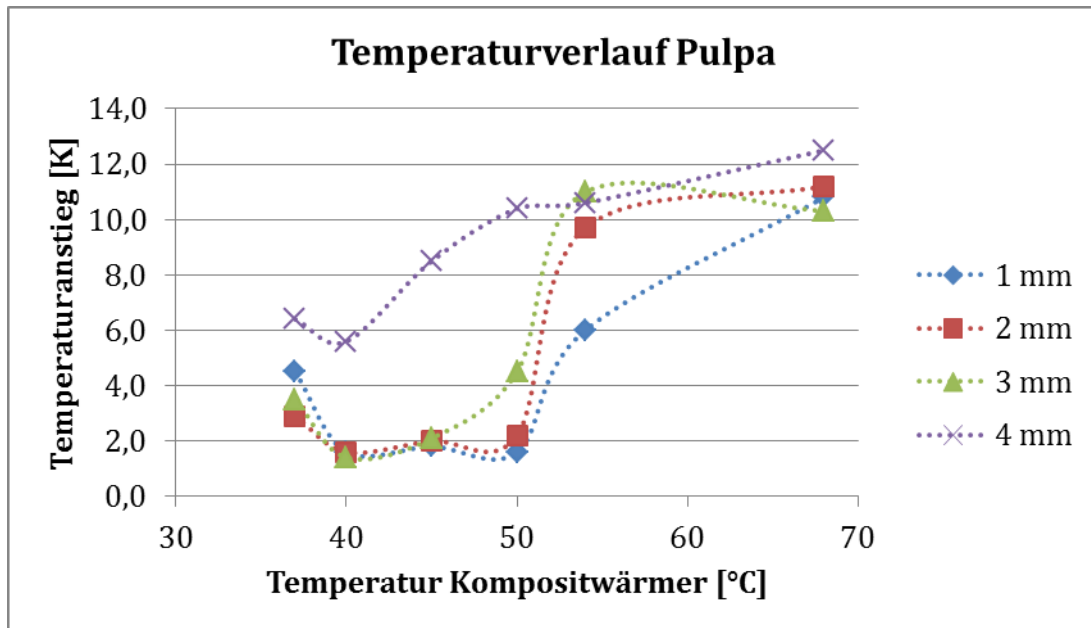


Abb. 5-25: Temperaturverlauf Pulpa

5.4 Auspresskraft

Die Testergebnisse der Auspresskraft sind in Tabelle 5-2 dargestellt.

Tabelle 5-2: Auspresskraft

	23 °C	37 °C	40 °C	45 °C	50 °C	54 °C	68 °C
Charisma	34,44 ± 3,80	26,63 ± 5,29	15,62 ± 5,30	11,19 ± 2,18	9,50 ± 1,98	7,35 ± 2,94	5,18 ± 0,90
Venus Di- amond	123,29 ± 17,35	69,10 ± 16,12	50,87 ± 7,53	49,06 ± 8,17	32,32 ± 6,13	24,45 ± 4,12	20,44 ± 4,24
Tetric EvoCeram	138,23 ± 17,68		116,74 ± 16,67		64,97 ± 5,46		35,07 ± 8,61
Kalore	169,4 ± 6,53		65,16 ± 4,14		38,12 ± 2,98		16,33 ± 3,32

Die Abbildung 5-26 veranschaulicht die Mittelwerte für die Auspresskraft mit den entsprechenden Standardabweichungen.

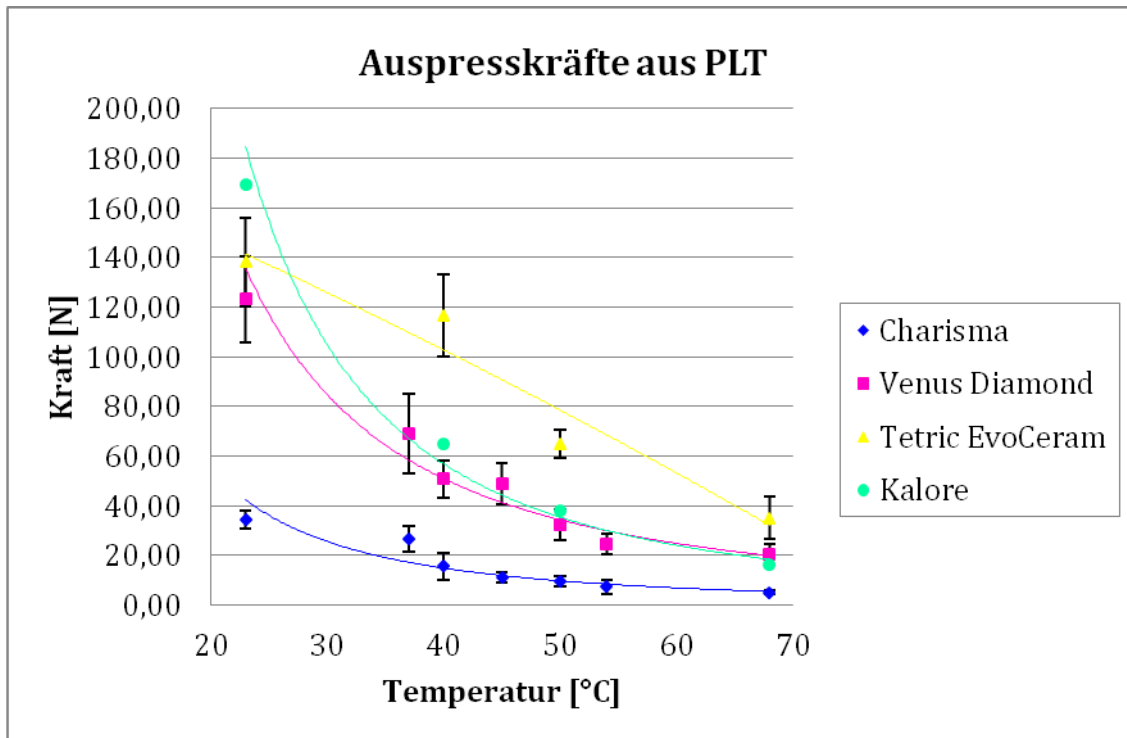


Abb. 5-26: Auspresskräfte aus PLT

Die Ausgangswerte der vier verschiedenen Materialien weisen starke Unterschiede auf. So hat Kalore bei Raumtemperatur mit 169,4 N den höchsten Mittelwert, gefolgt von Tetric EvoCeram mit 138,23 N und Venus Diamond mit 123,29 N. Den niedrigsten Wert weist Charisma mit 34,44 N auf.

Bei Erhöhung der Vorwärmtemperatur ändert sich die Auspresskraft unterschiedlich stark. Sie sinkt bei allen untersuchten Kompositen. Es ist jedoch festzustellen, dass bei einer Vorwärmtemperatur von 50 °C die Kraft bei sämtlichen untersuchten Kompositen um mehr als 50 % reduziert wird. Bei Charisma wird der Wert bei 50 °C um 72,42 % auf 9,5 N reduziert, bei Venus Diamond um 73,79 % auf 32,32 N, Tetric EvoCeram weist eine Reduktion von 53,00 % auf 64,97 N und Kalore von 77,50 % auf 38,12 N auf. Bei einer Temperatur von 68 °C können ausnahmslos Kräfte von unter 40 N festgestellt werden. Im Falle von Kalore handelt es sich um eine Kraftminderung von 90,36 %, während bei Tetric EvoCeram eine Minderung von 74,63 % erzielt werden konnte. Bei Venus Diamond wird ein Rückgang der Kraft um 83,45 % und bei Charisma um 84,96 % verzeichnet.

5.5 Festigkeit und Initialklebrigkeit

Aus der Abbildung 5-27 lässt sich ein Überblick über die Mittelwerte und Standardabweichung der Festigkeitsprüfung, aus Abbildung 5-28 ein Überblick über die Mittelwerte und Standardabweichung der Initialklebrigkeit entnehmen.

Die Testergebnisse sind in Tabelle 5-3 für die Festigkeit und in Tabelle 5-4 für die Initialklebrigkeit aufgeführt.

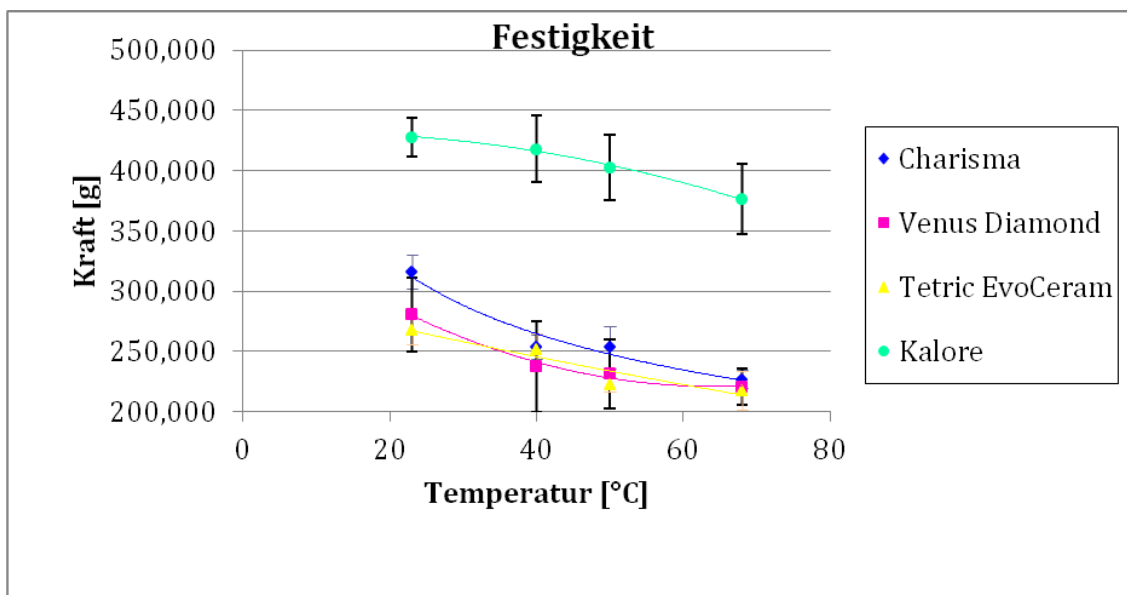


Abb. 5-27: Festigkeit

Tabelle 5-3: Festigkeit

	23 °C	40 °C	50 °C	68 °C
Charisma	316,319 ± 13,949	254,074 ± 10,157	253,441 ± 17,509	227,073 ± 7,579
Venus Dia- mond	280,621 ± 30,759	237,524 ± 37,617	231,423 ± 28,888	220,651 ± 15,225
Tetric EvoCeram	267,692 ± 11,340	252,183 ± 12,356	223,091 ± 5,884	217,660 ± 16,173
Kalore	427,960 ± 15,730	418,201 ± 27,515	402,713 ± 27,035	376,422 ± 29,436

Ausgehend von verschiedenen Ausgangswerten der Komposite bei Raumtemperatur sind temperaturabhängige Veränderungen zu erkennen. Es ist bei jedem Mate-

rial eine Verminderung der Kraft [g], die für die Festigkeit steht, festzustellen. Mit 427,960 g hat Kalore den höchsten Ausgangswert, der bei 50 °C um 6,00 %, bei 68 °C um 12,00 % reduziert ist. Charisma weist bei Raumtemperatur eine Festigkeit von 316,319 g auf, die bei 50 °C um 19,90 % und bei 68 °C 28,21 % gesenkt wird. Venus Diamond und Tetric EvoCeram verhalten sich in ihrer Temperaturabhängigkeit ähnlich. Die Mittelwerte bei Raumtemperatur liegen bei 280,621 g (Venus Diamond) und 267,692 g (Tetric EvoCeram). Die Vorerwärmungstemperatur von 40 °C führt zu einer Minderung der Festigkeit um 15,38 % (Venus Diamond) und 5,80 % (Tetric EvoCeram). Bei 50° C werden die ermittelten Werte um 17,53 % (Venus Diamond) und 16,66 % (Tetric EvoCeram), bei der Temperatur von 68 °C um 21,37 % (Venus Diamond) und 18,69 % (Tetric EvoCeram) verringert.

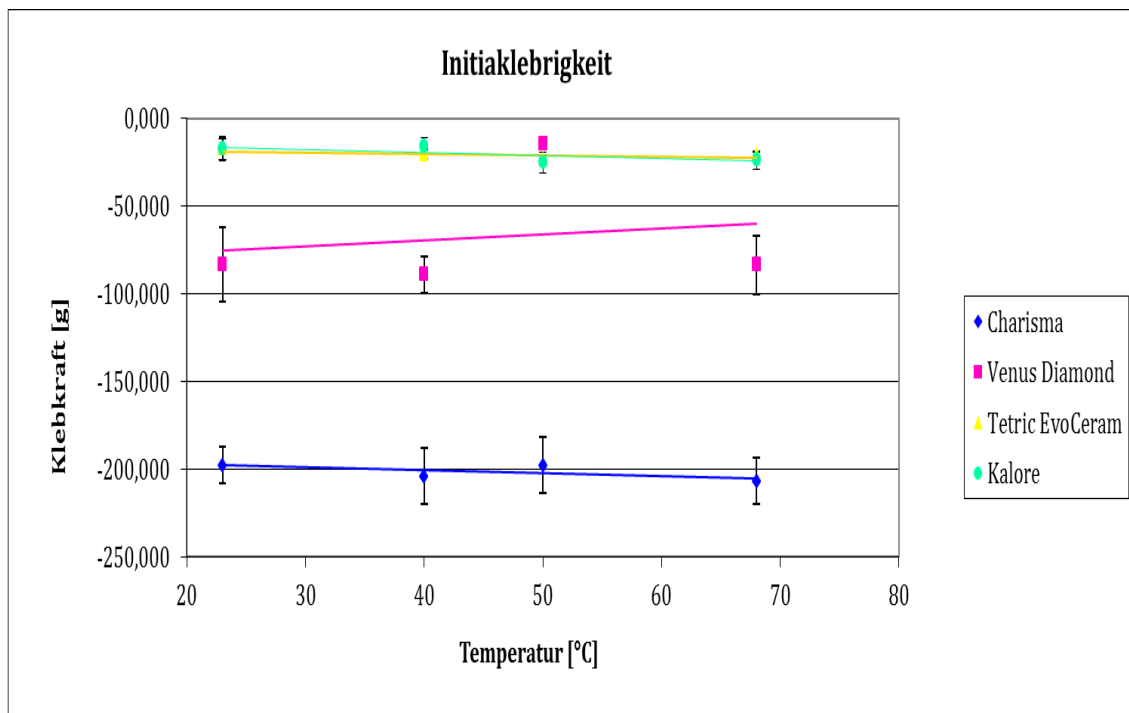


Abb. 5-28: Initiale Klebrigkeit

Tabelle 5-4: Initialklebrigkeit

	23 °C	40 °C	50 °C	68 °C
Charisma	-197,835 ± 10,375	-204,032 ± 16,103	-197,770 ± 15,927	-206,993 ± 13,145
Venus Diamond	-83,312 ± 21,257	-89,013 ± 10,280	-14,443 ± 2,118	-83,417 ± 16,640
Tetric EvoCeram	-17,301 ± 6,414	-20,336 ± 2,630	-23,596 ± 2,273	-20,332 ± 1,190
Kalore	-17,451 ± 5,813	-15,540 ± 4,696	-25,150 ± 6,112	-23,576 ± 5,087

Bei der Prüfung der Initialklebrigkeit konnte, unter Einbeziehung der Standardabweichung, keine bedeutende Veränderung festgestellt werden. Die Werte der Initialklebrigkeit bleiben auch bei Temperaturerhöhung weitestgehend konstant. Kalore und Tetric EvoCeram verfügen über die geringste Initialklebrigkeit bei durchschnittlich ca. 20 g. Venus Diamond weist bei einer Temperatur von 50 °C einen abweichenden Wert bei 14,443 g nach unten auf, die Werte der anderen Temperaturen liegen zwischen 83 bis 89 g. Mit ca. 200 g im Schnitt verfügt Charisma über die höchste Initialklebrigkeit der vier Komposite.

5.6 Biegefestigkeit und E-Modul

Wie in Abbildung 5-29 für Mittelwerte und Standardabweichungen der Biegefestigkeit und in Abbildung 5-30 für den E-Modul veranschaulicht, besteht kein wesentlicher Temperatureinfluss. Die Testergebnisse der Biegefestigkeit und dem E-Modul sind in Tabelle 5-5 und 5-6 zusammengefasst.

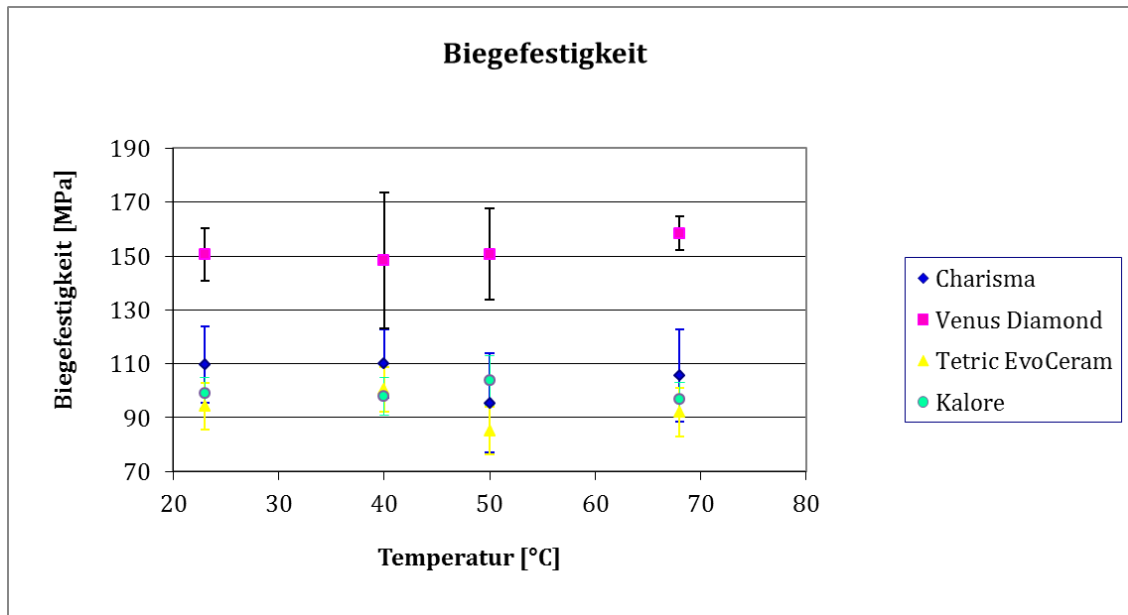


Abb. 5-29: Biegefestigkeit

Tabelle 5-5: Biegefestigkeit

	23 °C	40 °C	50 °C	68 °C
Charisma	109,70 ± 14,20	109,90 ± 12,70	95,50 ± 18,30	105,70 ± 17,20
Venus Diamond	150,70 ± 9,80	148,50 ± 25,20	150,70 ± 16,90	158,40 ± 6,30
Tetric EvoCeram	94,30 ± 8,60	100,60 ± 8,30	85,20 ± 8,90	92,00 ± 8,90
Kalore	99,10 ± 5,70	97,80 ± 7,00	103,90 ± 9,20	96,80 ± 6,20

Mit einem mittleren Durchschnitt der vier getesteten Temperaturen von 152,08 MPa weist Venus Diamond die höchste Biegefestigkeit auf. Gefolgt von Charisma mit 105,2 MPa, Kalore mit 99,4 MPa und Tetric EvoCeram mit 93,03 MPa. Die einzelnen Mittelwerte der verschiedenen Materialien bei den verschiedenen Temperaturen unterliegen in ihrem Verlauf Schwankungen, die jedoch geringfügig im Rahmen der Standardabweichungen zu sein scheinen.

Die in der EN ISO 4049 festgelegte Mindestanforderung von 80 MPa wird von allen vier untersuchten Kompositen erfüllt.

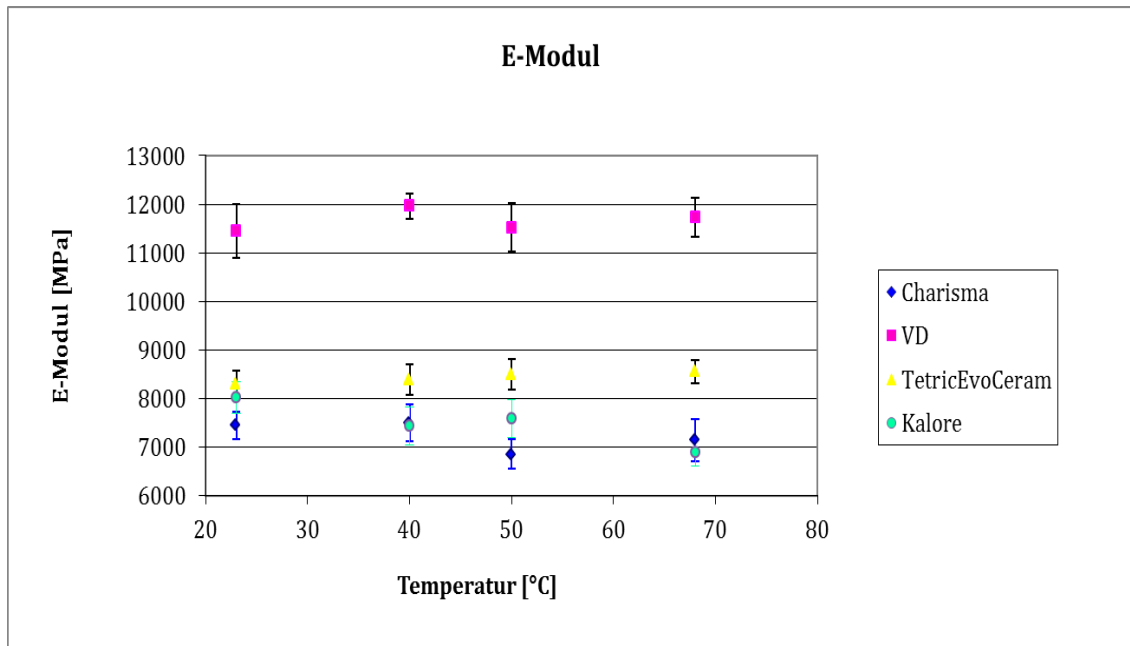


Abb. 5-30: E-Modul

Tabelle 5-6: E-Modul

	23 °C	40 °C	50 °C	68 °C
Charisma	7447,00 ± 279,00	7499,00 ± 381,00	6855,00 ± 300,00	7144,00 ± 429,00
Venus Diamond	11445,00 ± 552,00	11966,00 ± 263,00	11515,00 ± 499,00	11729,00 ± 402,00
TetricEvoCeram	8304,00 ± 261,00	8383,00 ± 310,00	8500,00 ± 312,00	8554,00 ± 242,00
Kalore	8018,00 ± 321,00	7439,00 ± 392,00	7576,00 ± 391,00	6895,00 ± 278,00

Neben der höchsten Biegefestigkeit verfügt Venus Diamond auch über den höchsten E-Modul der vier verschiedenen Komposite. Der Durchschnittswert der vier Messungen beträgt 11663,75 MPa. Die drei anderen Komposite liegen, wie auch bei der Biegefestigkeit, nicht weit voneinander entfernt. Dabei beträgt der Durchschnitt der Mittelwerte bei Charisma 7236,25 MPa, bei Tetric EvoCeram 8435,25 MPa und bei Kalore 7482 MPa.

5.7 Volumenschrumpf

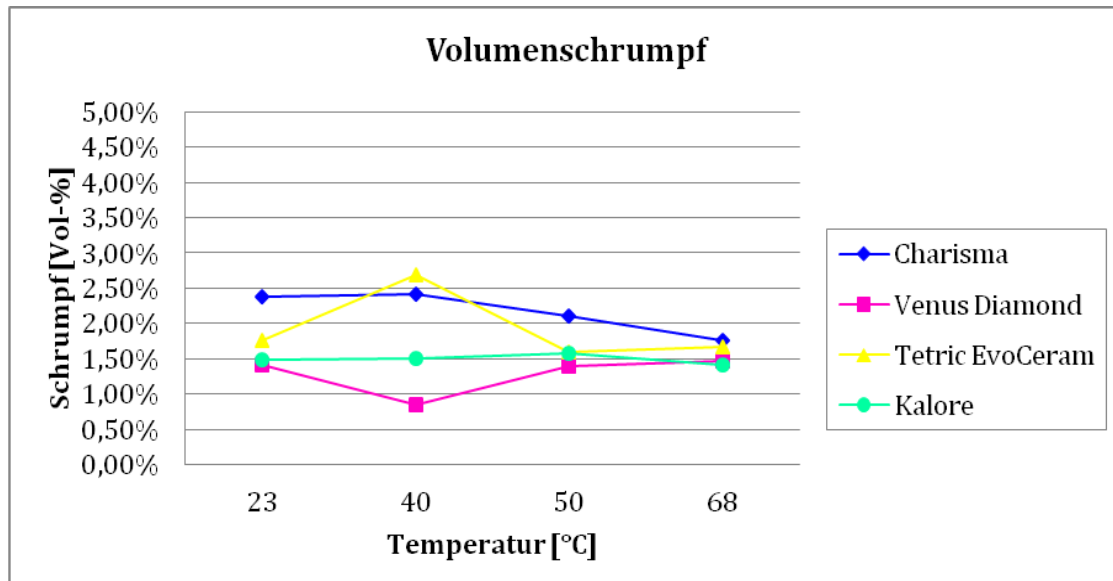


Abb. 5-31: Schrumpf

Bei den Ergebnissen zur Volumenschrumpfmessung sind keine systematischen Veränderungen zu erkennen. Die Werte liegen im Rahmen von 0,8 Vol-% und 2,69 Vol-%. Auffallende Abweichungen werden bei Venus Diamond und Tetric EvoCeram bei der Vorerwärmungstemperatur von 40 °C deutlich.

5.8 Schrumpfspannung

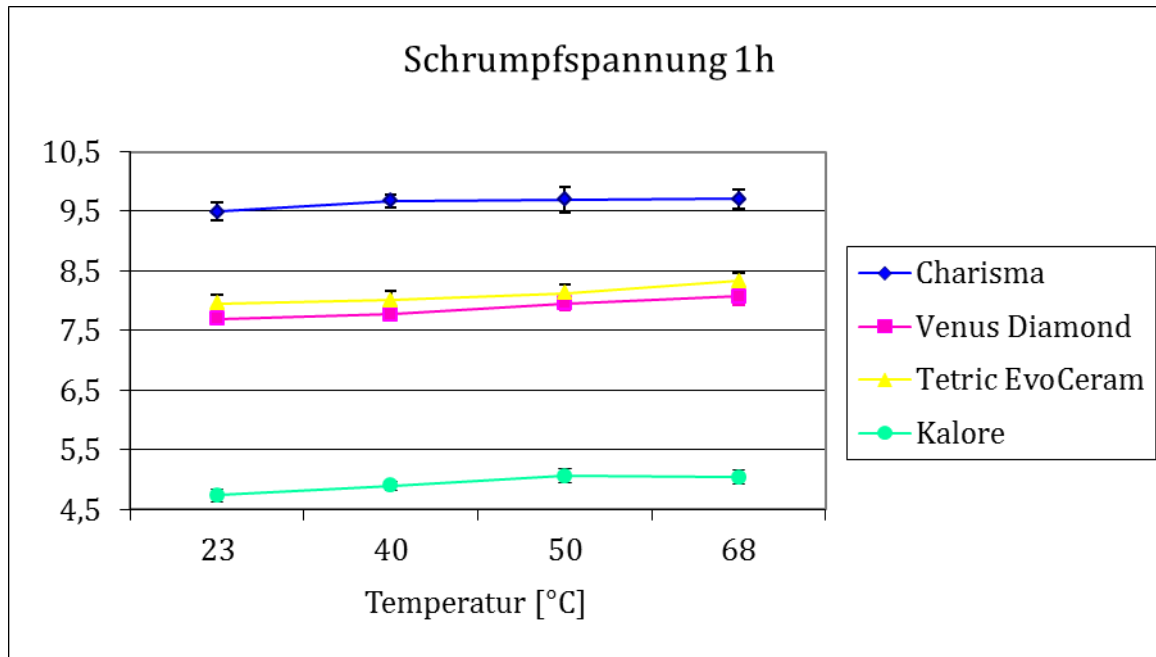


Abb. 5-32: Schrumpfspannung 1h-Werte

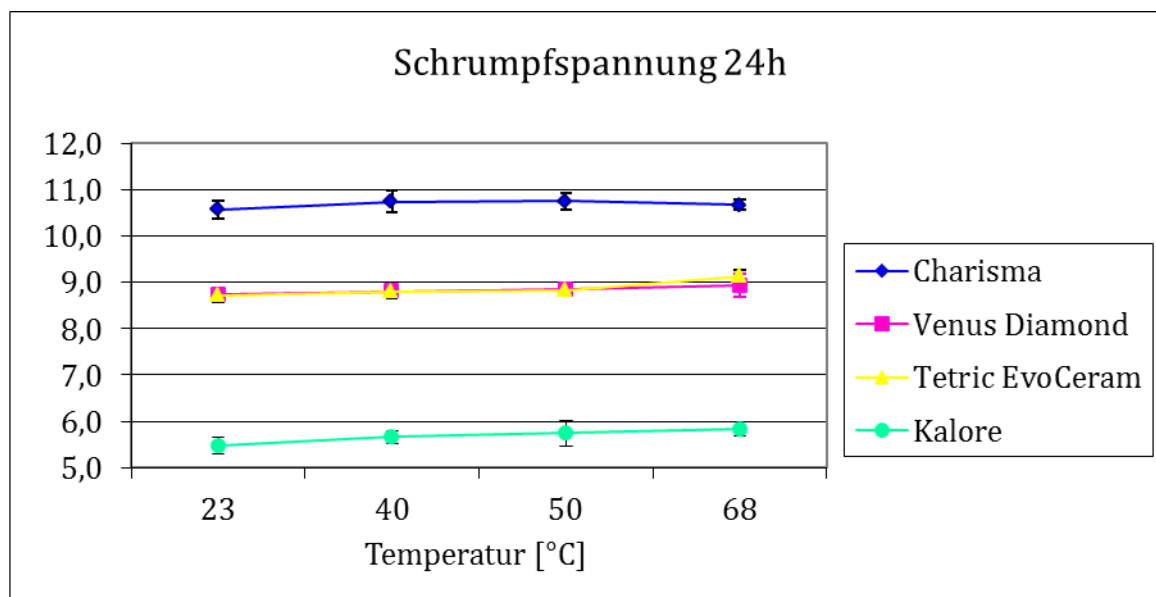


Abb. 5-33: Schrumpfspannung 24h-Werte

Messungen der Schrumpfspannung mit der optoelastischen Methode zeigen verschiedene Höhen der unterschiedlichen Kompositmaterialien eine Stunde und auch 24 Stunden nach Polymerisation. Dabei entwickelt jedes der Materialien eine geringfügige Temperaturabhängigkeit, sodass bei steigenden Temperaturen der Vorerwärmungsgeräte ein leichter Anstieg der Schrumpfspannung verzeichnet werden kann.

Der Vergleich der vier Materialien zeigt, dass Kalore über die geringste Schrumpfspannung verfügt. Die Werte von Tetric EvoCeram und Venus Diamond liegen sehr nah beieinander, wohingegen Charisma die höchste Schrumpfspannung aufweist. Bei der Probe Charisma Nr. 3 mit der Vorerwärmungstemperatur von 40 °C wurde nach 24 Stunden sogar eine Ablösung des Komposits von der Araldit-B-Wand festgestellt (Abbildung 5-34 und 5-35).

Zur Einzelbetrachtung der vier Komposite sind in Abbildung 5-36 bis 5-39 die 1-Stunden- und 24-Stunden-Werte einander gegenüber gestellt.

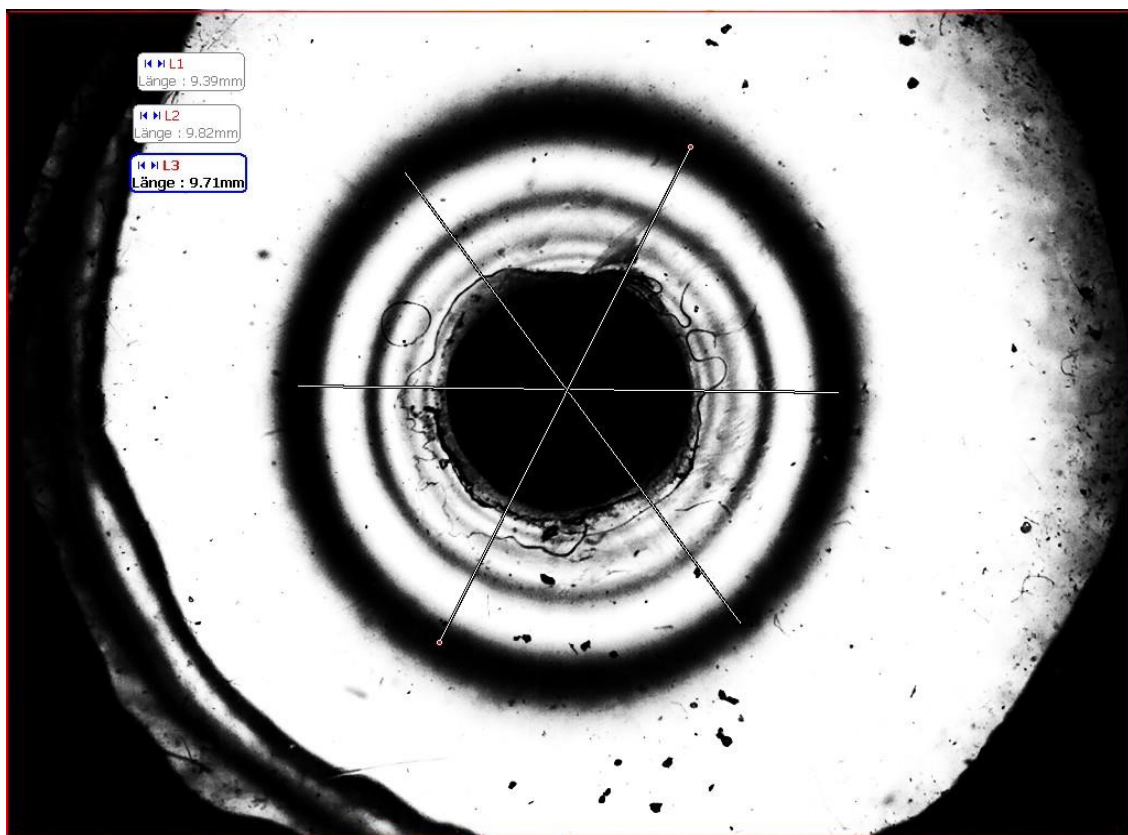


Abb. 5-34: Schrumpfspannung 1-h-Wert Charisma 40 °C (3. Probe)

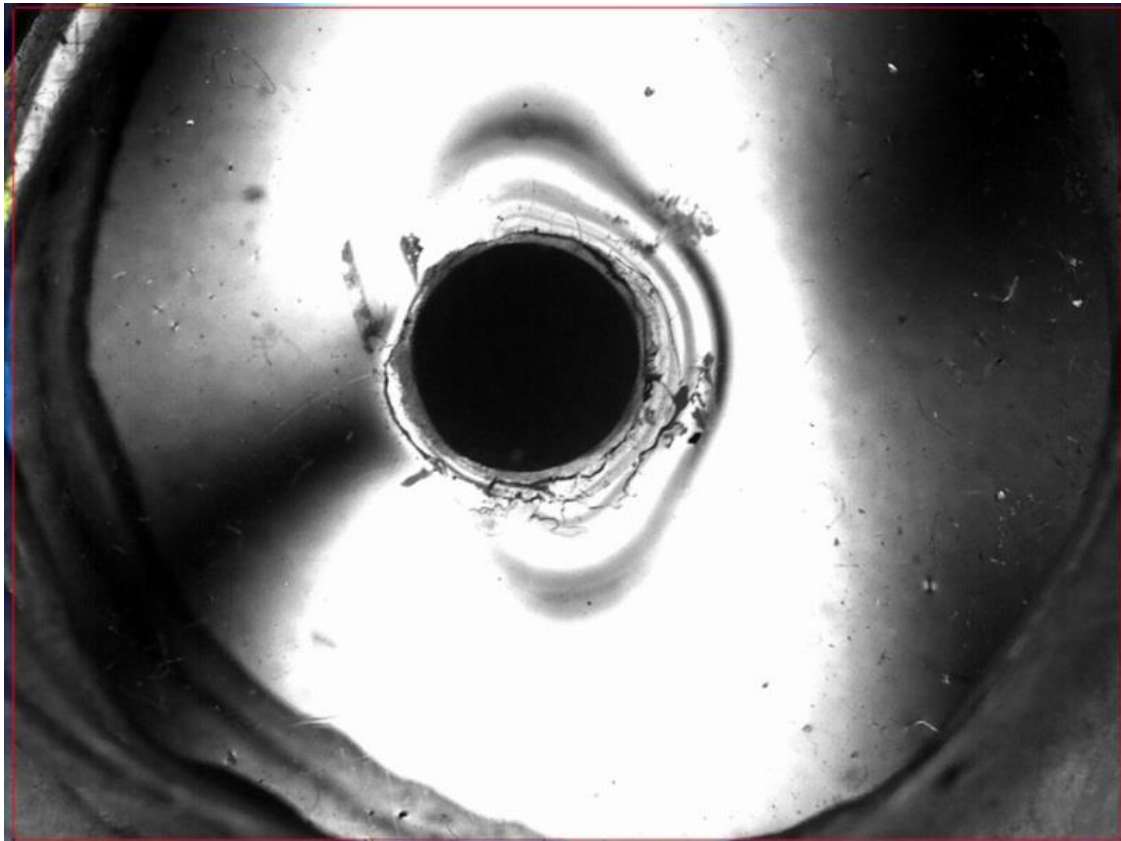


Abb. 5-35: Schrumpfspeannung 24-h-Wert Charisma 40 °C (3. Probe)

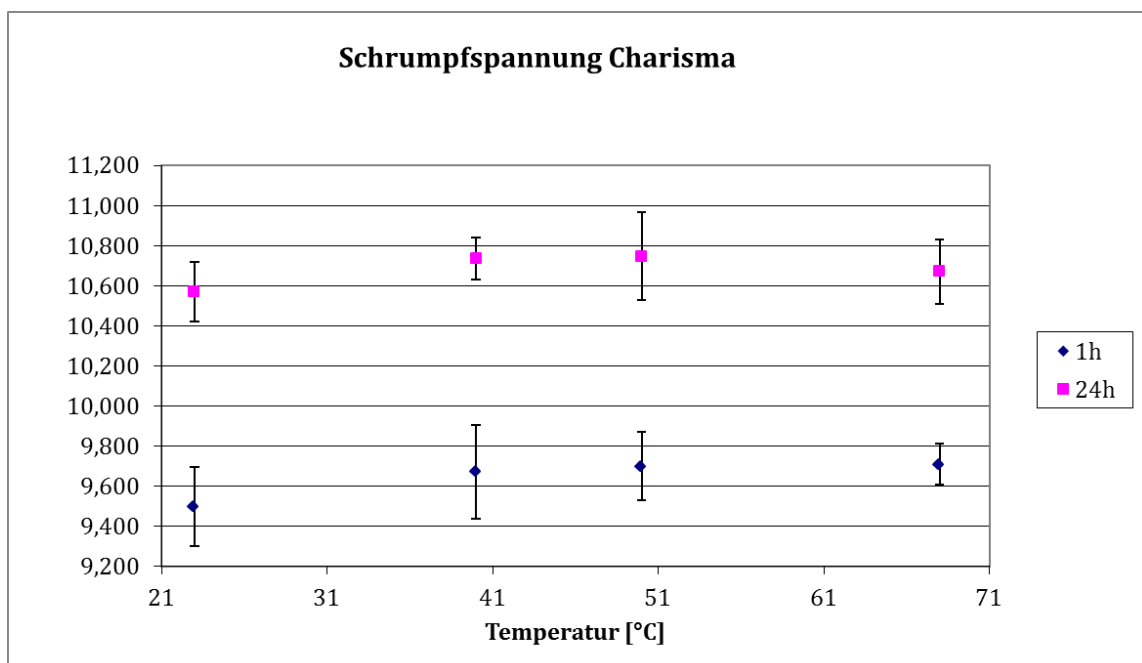


Abb. 5-36: Schrumpfspeannung Charisma

Tabelle 5-7: Schrumpfspannung Charisma

Charisma		23 °C	40 °C	50 °C	68 °C
1h					
	MW	9,497	9,673	9,7	9,71
	SW	0,150	0,104	0,219	0,159
	in %	1,6	1,1	2,3	1,6
24h					
	MW	10,570	10,735	10,747	10,67
	SW	0,197	0,233	0,17	0,104
	in %	1,9	2,2	1,6	1

Die Mittelwerte der 1-Stunden-Prüfung weisen bei steigender Temperatur eine Steigerung der Schrumpfspannung auf. Unter Einbeziehung der Standardabweichung kommt es möglicherweise zu einem Abfall der Schrumpfspannung bei 68 °C im Vergleich zu 40 °C und 50 °C. Dieser Abfall bei 68 °C ist auch bei der Betrachtung der Mittelwerte der 24-Stunden-Werte zu beobachten. Die 1-Stunden-Mittelwerte von Charisma liegen zwischen 9,497 und 9,710, die Mittelwerte der 24-Stunden-Prüfung zwischen 10,570 und 10,747.

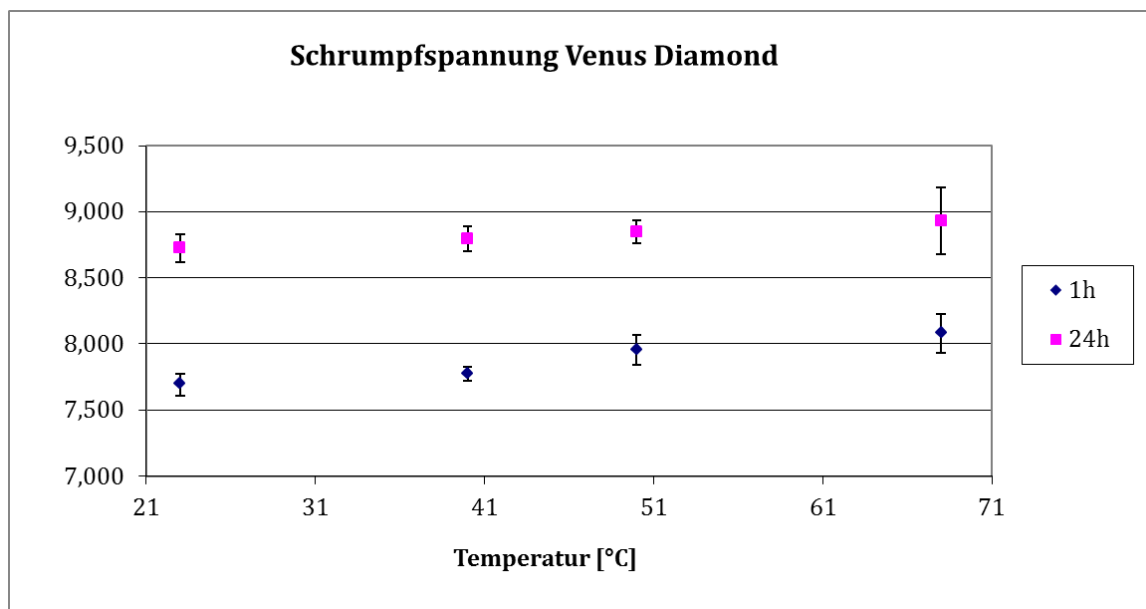


Abb. 5-37: Schrumpfspannung Venus Diamond

Tabelle 5-8: Schrumpfspannung Venus Diamond

Venus Diamond		23 °C	40 °C	50 °C	68 °C
1h					
	MW	7,693	7,773	7,953	8,077
	SW	0,083	0,055	0,112	0,146
	in %	1,1	0,7	1,4	1,8

24h					
	MW	8,727	8,797	8,85	8,933
	SW	0,105	0,095	0,087	0,251
	in %	1,2	1,1	1	2,8

Bei steigender Vorwärmtemperatur kommt es bei Venus Diamond bei beiden Messdurchläufen zu einer Erhöhung der Schrumpfspannung. Die Messwerte 1 Stunde nach Polymerisation steigen von 7,693 bei Raumtemperatur auf 8,077 bei 68 °C. Die Mittelwerte 24 Stunden nach Belichtung steigen von 8,727 bei Raumtemperatur auf 8,933 bei der Vorwärmtemperatur von 68 °C.

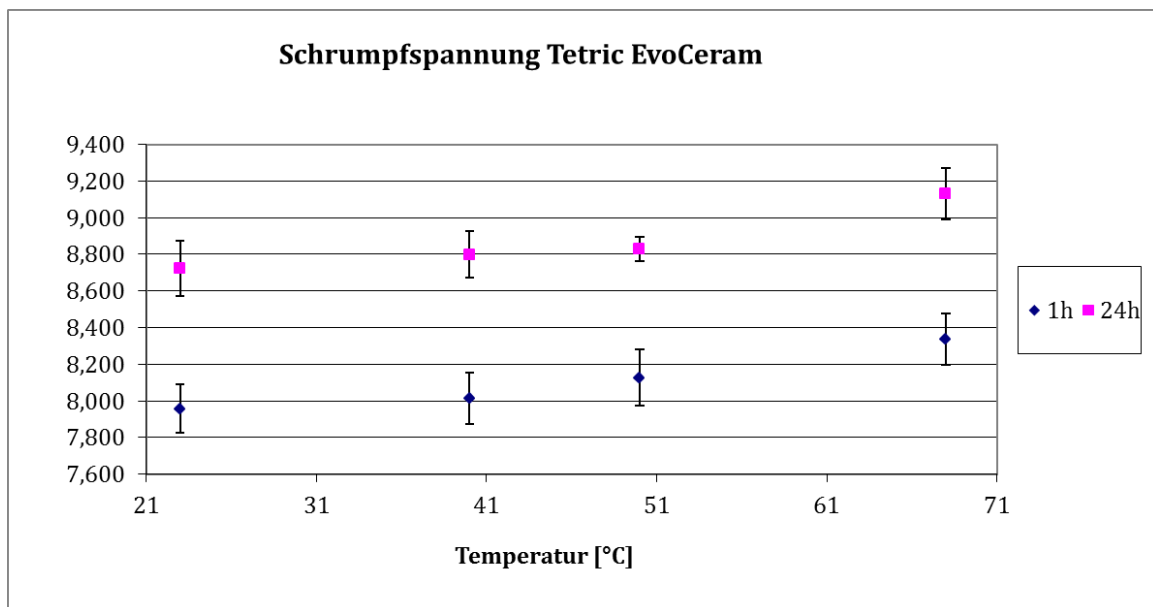


Abb. 5-38: Schrumpfspannung Tetric EvoCeram

Tabelle 5-9: Schrumpfspannung Tetric EvoCeram

		23 °C	40 °C	50 °C	68 °C
1h					
	MW	7,957	8,013	8,127	8,337
	SW	0,133	0,142	0,153	0,14
	in %	1,7	1,8	1,9	1,7

24h					
	MW	8,723	8,797	8,827	9,130
	SW	0,150	0,127	0,067	0,142
	in %	1,7	1,4	0,8	1,6

Auch bei Tetric EvoCeram kommt es bei steigender Vorwärmtemperatur bei beiden Messdurchläufen zu einer Erhöhung der Schrumpfspannung. 1 Stunde nach Polymerisation liegt der Mittelwert der 23 °C-Messung bei 7,957, 23 Stunden danach liegt dieser Wert mit einer Steigerung von 4,6 % bei 8,723. Diese Werte steigen bei 68 °C auf 8,337 (1 Stunde nach Polymerisation) und mit einer Steigerung von 4,5 % auf 9,130 (24 Stunden nach Polymerisation).

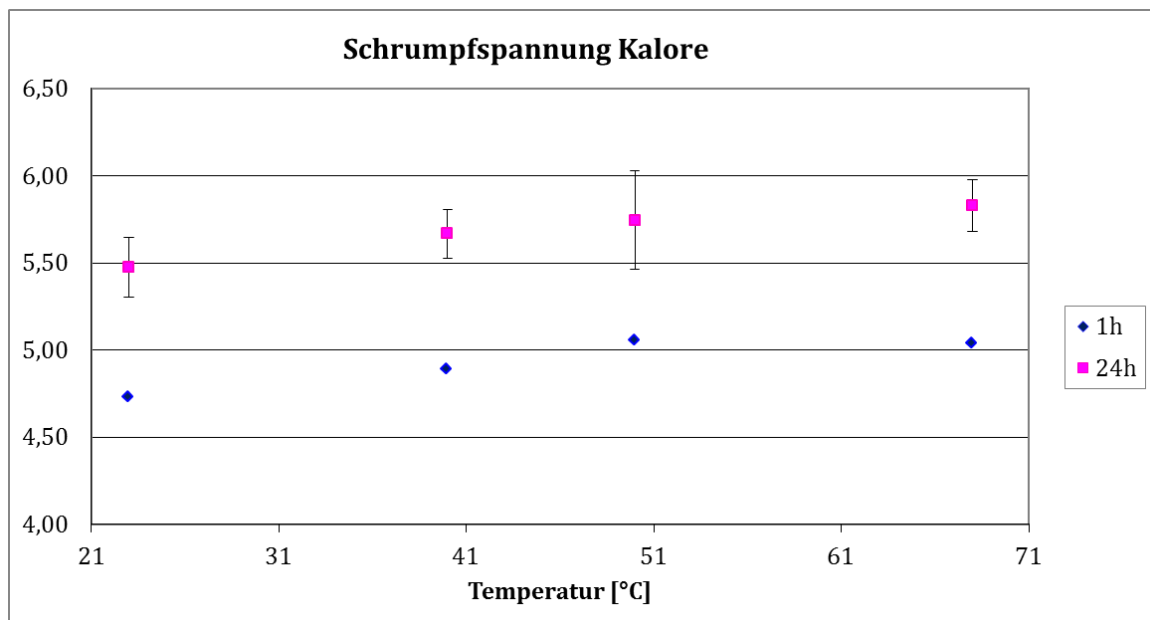


Abb. 5-39: Schrumpfspannung Kalore

Tabelle 5-10: Schrumpfspannung Kalore

		23 °C	40 °C	50 °C	68 °C
1h					
	MW	4,735	4,894	5,06	5,043
	SW	0,112	0,080	0,12	0,115
	in %	2,4	1,6	2,4	2,3

24h					
	MW	5,475	5,668	5,745	5,829
	SW	0,173	0,140	0,283	0,151
	in %	3,2	2,5	4,9	2,6

Wie bei Venus Diamond und Tetric EvoCeram ist auch bei Kalore eine ähnliche Temperaturabhängigkeit zu erkennen. So kommt es bei beiden Messdurchläufen zu einer Steigerung der Schrumpfspannung. 1 Stunde nach Polymerisation liegt der Mittelwert der 23 °C-Messung bei 4,735, 23 Stunden danach liegt dieser Wert mit einer Steigerung von 6,1 % bei 5,043. Diese Werte steigen bei 68 °C auf 5,475 (1 Stunde nach Polymerisation) und mit einer Steigerung von 6,0 % auf 5,829 (24 Stunden nach Polymerisation).

5.9 Polymerisationstiefe

Abbildung 5-40 veranschaulicht die Mittelwerte für die Polymerisationstiefe mit den entsprechenden Standardabweichungen.

Die Testergebnisse der Polymerisationstiefe sind in Tabelle 5-11 dargestellt.

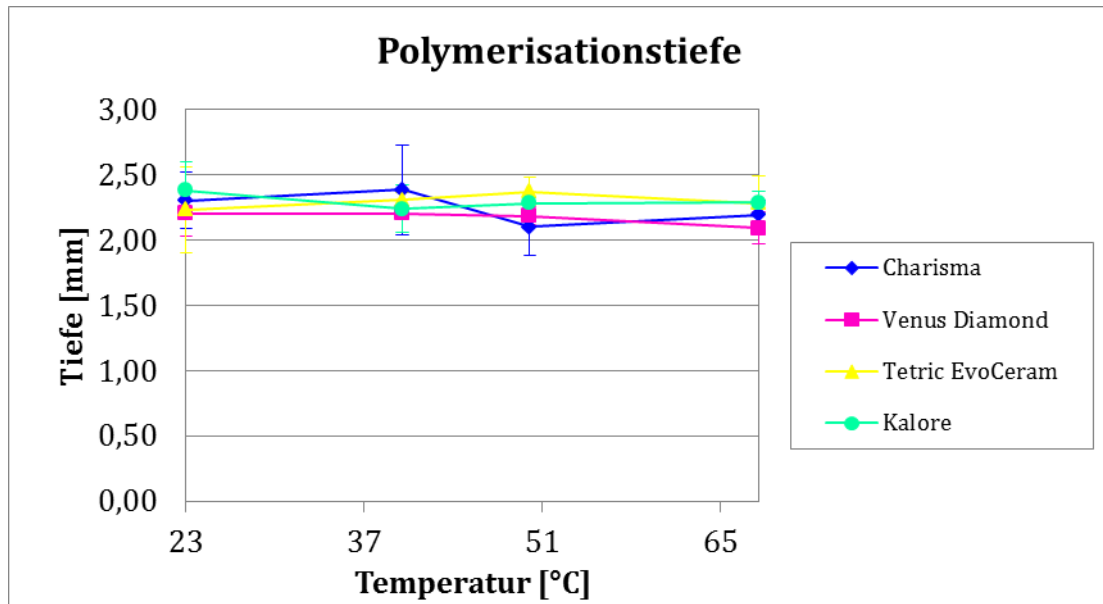


Abb. 5-40: Polymerisationstiefe

Tabelle 5-11: Polymerisationstiefe

	23 °C	40 °C	50 °C	68 °C
Charisma	2,30 ± 0,22	2,38 ± 0,34	2,10 ± 0,22	2,19 ± 0,11
Venus Diamond	2,20 ± 0,17	2,20 ± 0,04	2,18 ± 0,07	2,09 ± 0,13
Tetric EvoCeram	2,23 ± 0,33	2,30 ± 0,06	2,37 ± 0,11	2,28 ± 0,21
Kalore	2,38 ± 0,21	2,24 ± 0,18	2,28 ± 0,08	2,28 ± 0,08

Bei der Untersuchung der Polymerisationstiefe ist keine Temperaturabhängigkeit zu erkennen. Alle vier getesteten Materialien erfüllen mit einer Tiefe $\geq 1,5$ mm die Anforderungen nach EN ISO 4049.

5.10 Umsatz der Doppelbindungen

In Abbildung 5-41 ist der Doppelbindungsumsatz der vier Materialien direkt nach Belichtung einander gegenübergestellt. Die Werte dieser Materialien 10 Minuten nach der Polymerisation sind in Abbildung 5-42 dargestellt. Die Tabellen 5-12 und 5-13 geben die Mittelwerte der Ergebnisse der vier Materialien mit der Standardabweichung wieder.

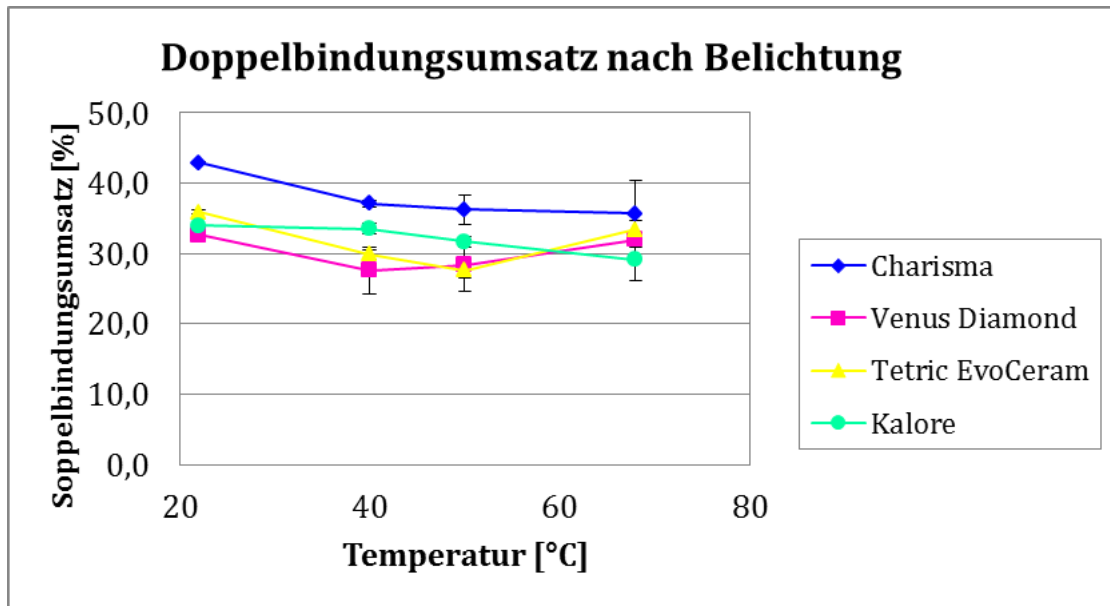


Abb. 5-41: Doppelbindungsumsatz nach Belichtung

Tabelle 5-12: Doppelbindungsumsatz nach Belichtung

	23 °C	40 °C	50 °C	68 °C
Charisma	42,90 ± 0,22	37,10 ± 0,51	36,30 ± 2,09	35,70 ± 4,73
Venus Dia- mond	32,70 ± 0,13	27,60 ± 3,35	28,40 ± 3,70	32,00 ± 0,28
Tetric EvoCeram	35,90 ± 0,29	29,90 ± 0,69	27,60 ± 1,07	33,40 ± 1,30
Kalore	33,98 ± 0,22	33,55 ± 0,75	31,66 ± 0,70	29,13 ± 3,05

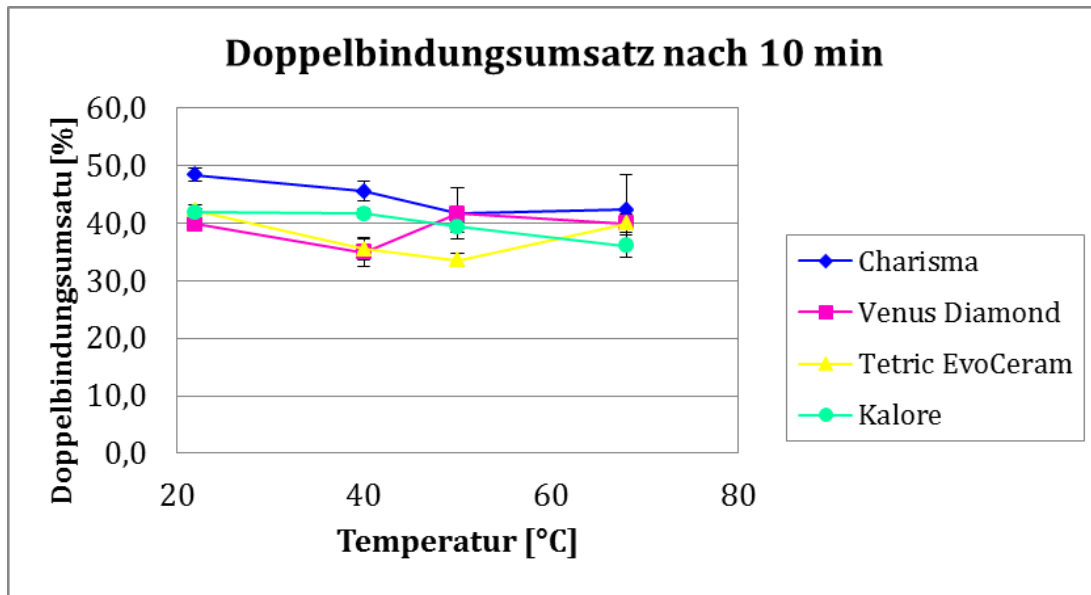


Abb. 5-42: Doppelbindungsumsatz nach 10 Minuten

Tabelle 5-13: Doppelbindungsumsatz nach 10 Minuten

	23 °C	40 °C	50 °C	68 °C
Charisma	48,40 ± 1,19	45,6 ± 1,76	41,70 ± 0,94	42,40 ± 6,03
Venus Diamond	39,90 ± 0,45	35,00 ± 2,59	41,70 ± 4,45	40,00 ± 0,10
Tetric EvoCeram	42,30 ± 0,94	35,50 ± 1,84	33,60 ± 1,09	40,00 ± 1,56
Kalore	41,88 ± 0,58	41,69 ± 0,73	39,36 ± 0,83	36,10 ± 1,92

Die folgenden Grafiken stellen die Temperaturabhängigkeit des Doppelbindungsumsatzes der vier Komposite einzeln im Vergleich der gemessenen Werte direkt nach der Polymerisation und 10 Minuten später dar.

Es wird eine materialspezifische Änderung des Umsatzes der Doppelbindung bei Temperaturerhöhung deutlich. So zeigen Charisma und Kalore bei steigender Vorwärmungstemperatur einen verminderten Doppelbindungsumsatz, während Venus Diamond und Tetric EvoCeram bis 50 °C zunächst verminderte Werte aufweisen, um dann bei 68 °C wieder anzusteigen. Der jeweilige Unterschied zwischen den Werten unmittelbar nach Belichtung und 10 Minuten später ist weitestgehend konstant.

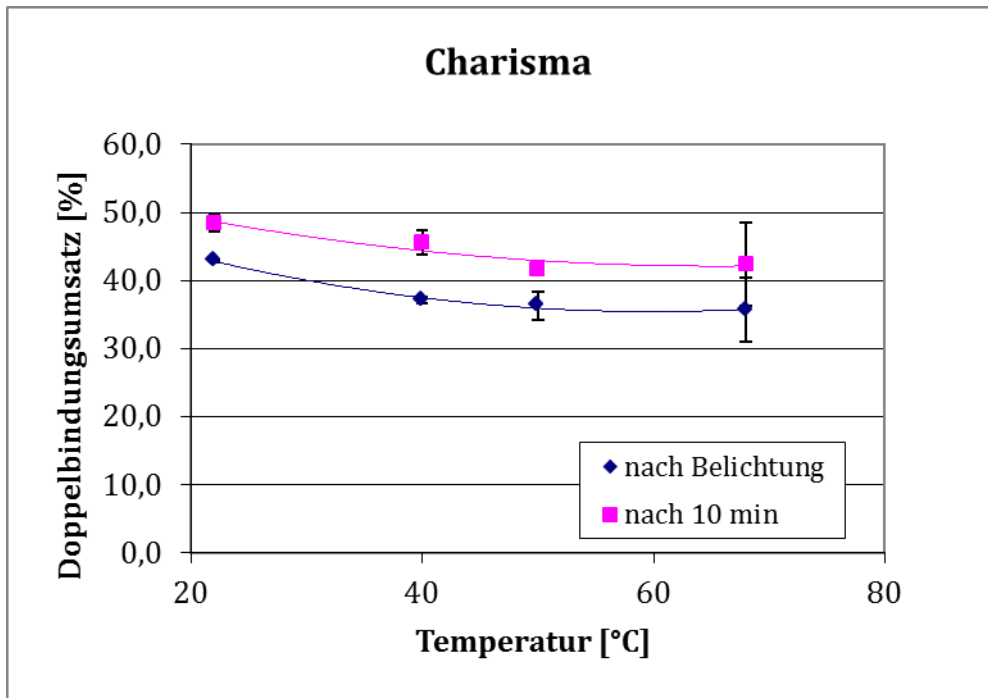


Abb. 5-43: Doppelbindungsumsatz Charisma

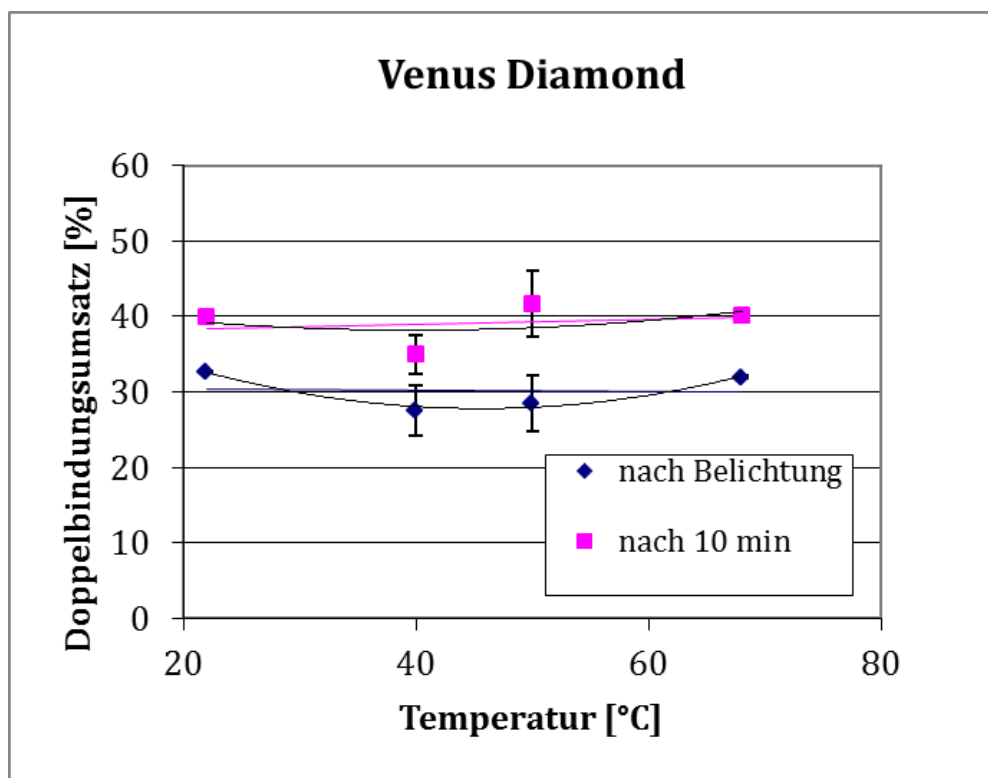


Abb. 5-44: Doppelbindungsumsatz Venus Diamond

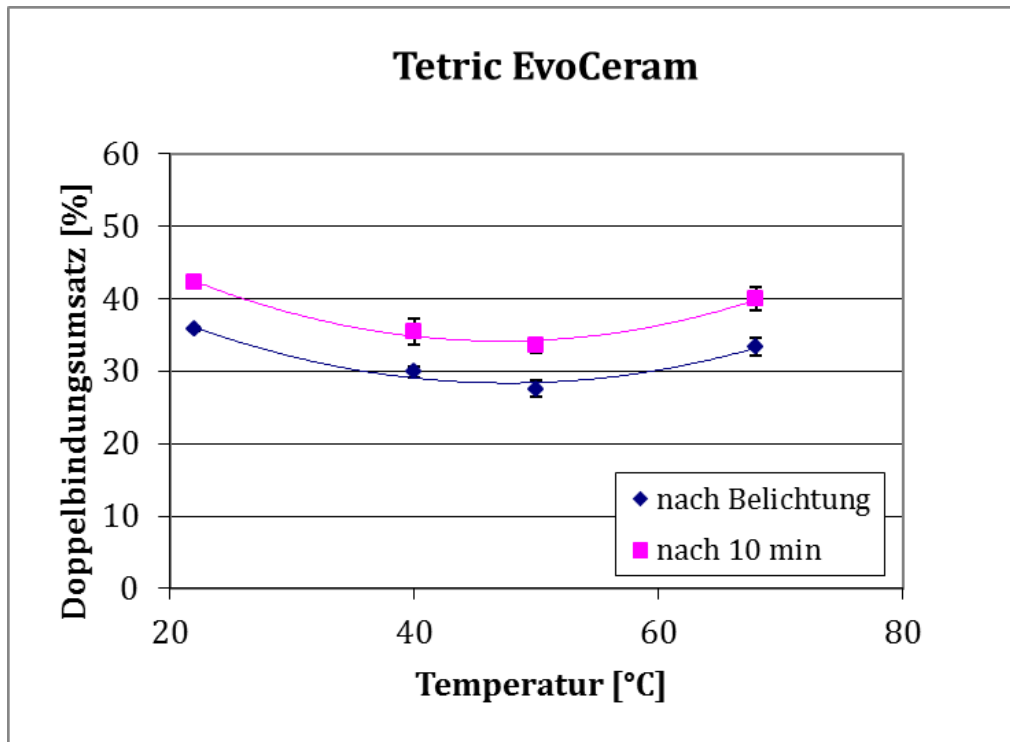


Abb. 5-45: Doppelbindungsumsatz Tetric EvoCeram

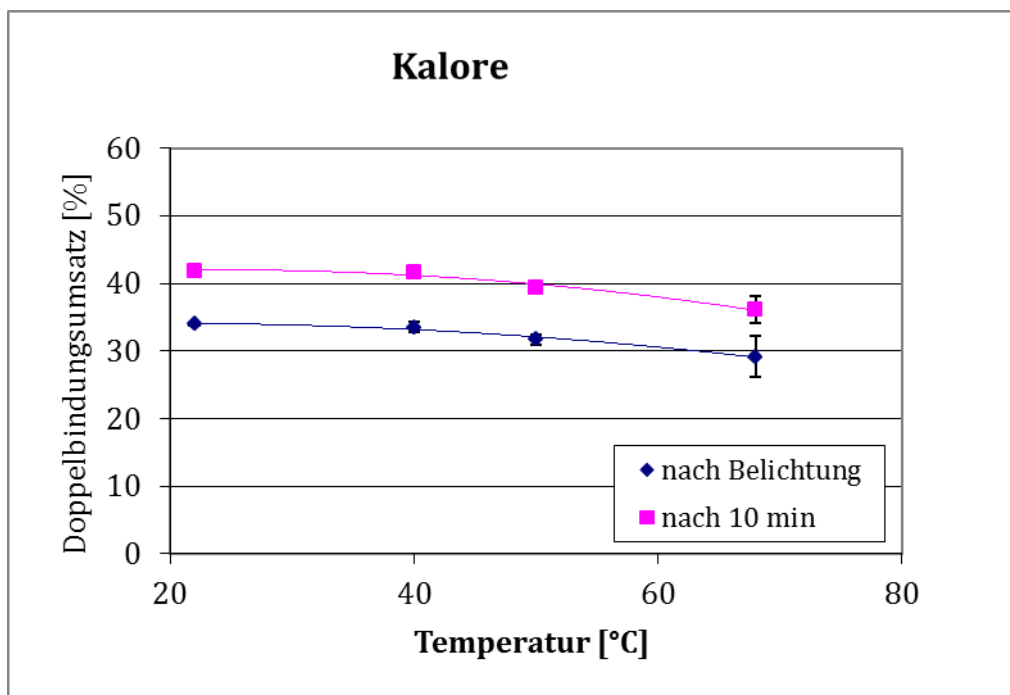


Abb. 5-46: Doppelbindungsumsatz Kalore

6. Diskussion

6.1 Material und Methode

6.1.1 Material

6.1.1.1 Vorerwärmungsgeräte

Die in der Studie verwendeten Vorerwärmungsgeräte Ease-It™ Composite Heater (RØNVIG Dental Mfg. A/S) und Calset™ Compule Heater (AdDent, Inc.) sind zwei auf dem Markt gängige Vorerwärmungsgeräte. Während bei Ease-It™ Temperaturen von 40 °C bis 50 °C einstellbar sind, stellt Calset™ die drei Temperaturen 37 °C, 54 °C und 68 °C zur Auswahl.

In einer Studie von Daronch et al. wurden drei Calset-Geräte auf ihre Erwärmungseigenschaften getestet. Zwei der drei Geräte erreichen in der Studie die angestrebte Temperatur. Dabei kommt die Temperatur der Karpulen nah an die des Gerätes heran, aber nach der Entnahme der Karpulen aus dem Gerät fällt die Temperatur der Karpulen drastisch ab [12].

In der von mir durchgeführten Studie bleibt die Temperatur von Calset 1 – 2 °C unter der angestrebten Temperatur. Auch bei Ease-It wird die vom Hersteller angegebene Temperatur nicht erreicht. Sie liegt bis zu 10 °C darunter. Die Ursache für diese Abweichungen kann darin liegen, dass die Messsonde innerhalb des Gerätes zentral positioniert war und nicht direkt auf dem Boden, wo während der Nutzung die Karpulen zum Liegen kommen. Dafür spricht, dass bei den Versuchen häufig die in den Karpulen gemessene Temperatur über der des Gerätes liegt.

6.1.1.2 Komposite

Die Komposite Charisma® (Heraeus Kulzer GmbH), Venus Diamond® (Heraeus Kulzer GmbH), Kalore® (GC Corporation) und Tetric EvoCeram® (Ivoclar Vivadent GmbH) gelten als Universalkomposite. Sie haben das gleiche Indikationsgebiet, unterscheiden sich aber in ihrer chemischen Zusammensetzung. Das in Komposi-

ten am häufigsten verwendete Matrixmolekül Bis-GMA ist in Charisma und Tetric EvoCeram zu finden. Während Charisma zusätzlich der klassische Viskositätsverdüner TEGDMA [4] zugegeben wird, ist in Tetric EvoCeram UDMA und Bis-EMA enthalten. UDMA dient auch in Venus Diamond und Kalore als Matrixmolekül. Als Comonomer wird TCD-DI-HEA in Venus Diamond und DX-511 in Kalore verwendet.

Monomermischungen aus Bis-GMA und UDMA bewirken nach Ilie et al. eine höhere Konversionsrate. Bei einer erhöhten Zugabe von TEGDMA sinkt die Biegefestigkeit, bei Erhöhung des UDMA-Anteiles hingegen steigt die Biegefestigkeit. Zudem kann nach Ilie et al. festgehalten werden, dass Monomermischungen aus UDMA und TEGDMA bessere mechanische Eigenschaften aufweisen als Mischungen aus Bis-GMA und TEGDMA. Ursache dafür sind wahrscheinlich die bessere Vernetzung und höhere Konversionsrate [35].

Unterschiede in den Füllstoffen sind festzustellen. Wie Ilie et al. beschreiben, sind die Unterschiede der Composite nicht nur in der Matrix zu suchen, sondern werden auch im großen Maß durch den Füllkörpergehalt bestimmt. Die Produkte nur nach ihrer Matrixzusammensetzung zu vergleichen, ist somit fast unmöglich [35]. Den geringsten prozentualen Gewichtsanteil von 78 % weist Charisma auf. Den Kompositen Venus Diamond und Kalore ist 82 Gew.-% Füllstoffanteil zugesetzt, 82,5 Gew.-% bei Tetric EvoCeram. Heraeus Kulzer setzt bei den von ihnen produzierten Kompositen Charisma und Venus Diamond auf Bariumaluminiumfluor-Glas und Siliciumdioxid-Füllkörper. Bei Tetric EvoCeram wird u. a. Bariumglas und Ytterbiumtrifluorid, bei Kalore u. a. Fluoraluminiumsilikatgläser und Strontiumgläser verwendet.

6.1.2 Methode

Die Ergebnisse der Messungen des Temperaturverlaufs sowohl im Vorerwärmungsgerät wie auch in der Karpule dienen hinsichtlich der optimalen Vorerwärmungszeit als Richtwerte. Die Versuche zur Messung des Temperaturverlaufs wurden durchgeführt um die benötigte Vorerwärmungszeit zu eruieren. Um statistisch aussagekräftigere Resultate über die Richtwerte hinaus zu erhalten, sind

mehrere Wiederholungen der Temperaturverläufe durchzuführen. Die von Daronch et al. ermittelten Werte wurden überprüft, welche besagen, dass die Endtemperaturen im Gerät und in der Karpule nach ca. 11 Minuten erreicht werden und dass unterschiedliche Karpulentypen die Komposittemperatur nicht beeinflussen [8]. Die Ergebnisse von Daronch et al. konnten weitestgehend bestätigt werden. So wurde zu Beginn der Studie die Vorerwärmungszeit aller Versuche auf mind. 10 Minuten festgelegt.

Die Temperaturmessung innerhalb der Pulpa ist mit nur einer Wiederholung statistisch nur bedingt aussagekräftig, spiegelt jedoch die Tendenz wieder, dass hohe Komposittemperaturen mit Vorsicht anzuwenden sind. Diese Aussage widerspricht den Ergebnissen einer Studie von Daronch et al., in der bei Temperaturen von 54 °C und 60 °C kein bedeutsamer Einfluss auf die Pulpentemperatur ersichtlich wurde [10].

Die Versuchsaufbauten und -abläufe zur Bestimmung der Biegefestigkeit, des E-Moduls und der Polymerisationstiefe sind in der EN ISO 4049:2009 standardisiert. Somit ist die Möglichkeit zum Vergleich mit anderen Untersuchungen gegeben.

Die Auspresskraft wurde mit Hilfe der Universalprüfmaschine Z010 (Fa. Zwick) und des Softwareprogrammes testXpert V10.11 (Zwick Roell AG) ermittelt. Die zügige Insertion der vorerwärmten Karpulen und die schnelle Messung der Kraft verhinderten einen starken Temperaturabfall des Materials. Dadurch war ein Gewinn an aussagekräftigen Ergebnissen möglich.

Die Ergebnisse der Messungen der Festigkeit und Klebrigkeit, gemessen mit dem Texture analyser TA.XT.plus, sind kritisch zu betrachten. Der Versuchsaufbau erfordert eine einminütige Beschwerung der erwärmten Probe mit einem Metallgewicht. Dieses Metallgewicht wurde jedoch bei Raumtemperatur verwendet, wodurch es zu einer schnelleren Abkühlung des Materials gekommen ist. Um diese mögliche Verfälschung des Ergebnisses auszuschließen, sollte bei einer folgenden Studie das Metallgewicht vor dessen Einsatz auf die Vorerwärmungstemperatur des Komposits temperiert werden.

Das Helium-Pyknometer, mit dem in dieser Studie der Volumenschrumpf gemessen wurde, arbeitet mit dem Prinzip der Gasverdrängung. Cook et al. beschreiben die pyknometrische Methode als akkurat und weniger arbeitsintensiv als andere flüssigkeitsbasierte Methoden, wie die quecksilber- oder wasserbasierte Ausdehnungsmessung. Letztere laufe Gefahr, durch die Wasseraufnahme des Komposits die Werte zu verfälschen, die quecksilberbasierte Methode ist gegenüber thermischen Veränderungen sensibel und zudem gesundheitlich nicht unbedenklich [5]. Die vorliegenden Ergebnisse können aber nur mit Ergebnissen verglichen werden, die mit derselben Methode gewonnen werden [49]. Die photoelastische Methode nach Ernst et al. wird immer häufiger zur Messung der Schrumpfkraft angewendet. Nach Rullmann et al. ermöglicht diese Methode mit konfektionierten Araldit-B-Platten gerade bei Kompositen mit einem niedrigen Schrumpf eine ziemlich genaue Differenzierung der Schrumpfspannung unterschiedlicher Materialien. Die adäquate Polymerisationstiefe wird durch die Belichtung über 60 Sekunden von beiden Seiten der Platte erreicht [58]. Die zwei Messungen nach 1 Stunde und nach 24 Stunden nach Insertion des Materials in das Plattenlumen sind aus dem Grund relevant, dass die Nachpolymerisation noch bis zu 24 Stunden nach der eigentlichen Polymerisation andauert [42].

Der Umsatz der Doppelbindungen wird mit der Fourier-Transform-IR-Spektroskopie gemessen, die auch als „Goldstandard“ [53] beschrieben wird. Da das Material direkt auf die Oberfläche des Diamanten gegeben und anschließend polymerisiert wird, aber schon geringe Verschmutzungen der Oberfläche zu ungenauen Ergebnissen führen, ist eine gewissenhaft durchgeführte Reinigung nach jeder Messung obligat. Die FT-IR-Methode wird von Corekci et al. als eine angemessene und verlässliche Messmethode angesehen, da die Messungen des Doppelbindungsumsatzes direkt vor und nach der Polymerisation durchgeführt werden. Allerdings sei es bei dieser Methode nur möglich, den Umsatz direkt an der Probenunterfläche zu messen [6]. Da aber von der gegenüberliegenden Seite polymerisiert wird, die Schicht 2 mm dick ist und somit ausreichend polymerisiert wird, kann dieser Einwand ungeachtet gelassen und die FT-IR-Methode als angebracht angesehen werden.

Bei allen Versuchsdurchläufen ist auf eine adäquate Verarbeitung und Durchführung geachtet worden. Alle Prüfkörper wurden auf Inhomogenität und andere Mängel überprüft und bei Beanstandung verworfen.

6.2 Ergebnisse

6.2.1 Diskussion der Arbeitshypothese 1

Die im Pulpencavum messbare Temperaturerhöhung ändert sich nicht signifikant, sodass keine Gefahr der Pulpaschädigung durch Erwärmung der Komposite vor der Verarbeitung besteht.

Die Ergebnisse dieser Studie in vitro bestätigen diese Hypothese nicht. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie konnten zeigen, dass ab einer Vorerwärmungstemperatur von 54 °C bzw. einer Kavitätentiefe von 4 mm ein Temperaturanstieg von 5,6 °C bis zum Höchstwert von 12,5 °C zu verzeichnen ist (vgl. Tab. 5-1).

1965 haben Zach und Cohen herausgefunden, dass bereits ein Temperaturanstieg von 5,5 °C die Pulpa irreversibel schädigt. Des Weiteren ist nach Yazici et al. Hitze der ursächliche Grund für eine Pulpaschädigung. Insbesondere bei tiefen Präparationen vergrößert sich die potentielle Gefahr einer Schädigung, da die Gesamtoberfläche der Dentintubuli zunimmt [65] bzw. die Zahl der Dentintubuli pro Flächeneinheit ansteigt (45000/mm²) [44]. Bei den möglicherweise durch eine Temperaturerhöhung auftretenden Schäden handelt es sich nach Daronch et al. um Veränderungen wie die Eiweißkoagulation, Flüssigkeitsausdehnung innerhalb der Dentintubuli und Pulpa, Gefäßschädigungen oder Gewebesnekrose [10].

Die Stärke der Restdentinschicht hat nach Yazici et al. einen entscheidenden Einfluss auf die Temperaturerhöhung innerhalb des Pulpencavums [65] und auch Daronch et al. weisen auf die wichtige protektive Funktion der Stärke der Restdentinschicht hin [10], welche jedoch in vivo nicht exakt bestimmbar ist.

Der Versuch wurde in vitro bei Raumtemperatur ohne Konditionierung und Verwendung eines Adhäsivsystems durchgeführt, wodurch u. a. die aufgezeichneten Ergebnisse nicht exakt auf die Situation in vivo zu übertragen sind. Auch wie Mile-

tic et al. in einer Studie zu Temperaturerhöhungen während der Polymerisation festhalten, können die Ergebnisse auch auf Grund im Versuch nicht reproduzierbarer Gegebenheiten wie der Flüssigkeitsbewegung in den Dentintubuli, Blut- oder Lymphzirkulation, die evtl. die Hitzeentwicklung besser kompensieren können, nicht vollkommen auf die lebende Pulpa übertragen werden. Zudem ist die Temperaturbewegung innerhalb der Pulpa noch weitestgehend unbekannt [50]. Die normale Temperatur der Pulpa liegt nach Daronch et al. zwischen 34 °C und 35 °C [10], die Temperatur während des Versuchs bei 22 °C bis 24 °C. In einer Studie mit in vivo- ähnlichen Verhältnissen konnten Daronch et al., anders als in dieser vorliegenden Studie, keine signifikanten Temperaturerhöhungen innerhalb des Pulpencavums nach Vorerwärmung des Komposits feststellen, jedoch sei es während der Polymerisation zu einem Temperaturanstieg von ca. 5 °C gekommen [10]. Hingegen geben Yazici et al. in einer Studie Temperaturerhöhungen während der Lichtpolymerisation, abhängig von der verwendeten Polymerisationslampe, bei einer Restdentinstärke von 1 mm zwischen 1,4 °C und 3,8 °C an [65].

Das Auftragen eines Adhäsivsystems kann möglicherweise durch den dadurch erzielten Verschluss der Dentinwunde zu einer verminderten Temperaturerhöhung innerhalb des Pulpencavums führen, wodurch die gemessenen Temperaturen als relativ angesehen werden müssen.

Ein Temperaturabfall des Komposits von der Entnahme aus dem Vorerwärmungsgerät bis zur Insertion in den präparierten Zahn, wie von Daronch et al. beschrieben (von 60 °C auf 36 °C) [10], wurde nicht untersucht.

6.2.2 Diskussion der Arbeitshypothese 2

Die Methode des Vorerwärmens führt zu verbesserten Eigenschaften in der klinischen Handhabung ohne die Materialeigenschaften negativ zu beeinflussen.

Die zweite Hypothese kann teilweise bestätigt werden. Die vorliegende Studie konnte zeigen, dass sich die Auspresskraft aus der Karpule bei einer Vorerwärmungstemperatur von 50 °C um mehr als 50 % verringert, bei 68 °C sogar bis teilweise ca. 90 %. Die verringerte aufzuwendende Kraft, die der Zahnarzt beim Extrudieren ausübt, trägt zu einer vereinfachten Handhabung bei und führt

dadurch zu einer besser kontrollierbaren Ausbringung des Materials, was neben der Krafterparnis auch zu einer Materialersparnis genutzt werden kann.

Die Ergebnisse der Versuche zur Festigkeit zeigen temperaturabhängige Veränderungen und beeinflussen die Handhabung positiv. So nimmt die Festigkeit der Komposite bei steigender Temperatur ab. Was folglich zu einer einfacheren Insertion und Konturierung des Materials [41], sowie zu einer besseren Adaptation an die Kavitätenwand [61] führt.

Während die Festigkeit bei steigender Vorerwärmungstemperatur verringert wurde, konnten bei der Überprüfung der Initialklebrigkeit keine temperaturabhängigen Veränderungen festgestellt werden. Dieses Ergebnis kann prinzipiell als positiv bewertet werden, da eine gewisse Klebrigkeit für den Verbleib an der Kavitätenwand wünschenswert ist, eine zu hohe Klebrigkeit allerdings zu einer erschwerten Insertion des Materials in die Kavität bzw. zu einem Verbleib am Instrument führen würde [2]. Allerdings ist das Ergebnis wegen des Versuchsaufbaus als kritisch zu betrachten, da es, wie bereits im Kapitel 6.1.2 erwähnt, bedingt durch den Versuchsaufbau zu einer Abkühlung des Materials vor der Messung der Initialklebrigkeit kam. Dies kann auch der Grund für das abweichende Ergebnis im Vergleich zu einer Studie von Ertl et al. sein, in der eine Erhöhung der Klebrigkeit korrespondierend zur Erhöhung der Temperatur von 23 °C auf 37 °C festgestellt wurde [20].

Die Ergebnisse der Messung der Polymerisationstiefe weisen keinerlei Veränderungen bei steigender Vorerwärmungstemperatur auf und erfüllen mit einer Tiefe $\geq 1,5$ mm die Anforderungen nach EN ISO 4049. So ist auch die Möglichkeit zur adäquaten Schichtung mit einer kalkulierbaren Polymerisation und zum effizienten Arbeiten gegeben. Somit wird die Gültigkeit der Inkrementtechnik mit Schichtstärken von 2 mm, wie sie auch Kunzelmann beschreibt [42], auch bei vorerwärmtem Komposit bestätigt. Von einer stärkeren Schichtdicke von 3 mm, auf die sich Frauscher et al. [26] stützen, rate ich in jedem Fall ab. Zwar ist der eigentlich gemessene Wert der Polymerisationstiefe > 4 mm, doch erfordert die EN ISO 4049 eine Dividierung durch zwei und dementsprechend sollte das Material aus Gründen der gesicherten vollständigen Polymerisation in geringeren Stärken geschich-

tet werden.

Bei der Prüfung von Biegefestigkeit und E-Modul konnte in der Studie keine Temperaturabhängigkeit beobachtet werden. Ebenso zeigt die Messung des Schrumpfes keine systematische Abhängigkeit.

Ein negativer Effekt auf die o.g. Materialeigenschaften durch die Vorerwärmung konnte somit nicht festgestellt werden. Jedoch steigt hingegen die Schrumpfspannung bei höheren Vorerwärmungstemperaturen auf geringem Niveau, was zu höheren auf den Zahn wirkenden Kräften führen kann [42]. Das kann zur Folge haben, dass es eher zur Bildung von Randspalten am Übergang von Zahnhartsubstanz und Komposit kommt. Die Versorgung der Kavität ist nicht mehr suffizient und die Gefahr der Entstehung einer Sekundärkaries steigt. Die Ursache für die gering steigende Schrumpfspannung kann in der, durch die höhere Temperatur bedingten, schneller ablaufenden Polymerisationsreaktion und damit initial größeren Expansion liegen.

Auch der Doppelbindungsumsatz weist in dieser Studie Veränderungen auf, die negative Auswirkungen zur Folge haben können. So kann der bei steigender Temperatur sinkende Doppelbindungsumsatz neben verschlechterten Materialeigenschaften auch, bedingt durch den höheren Restmonomergehalt, biologisch bedenklich sein [40].

6.2.3 Diskussion der Arbeitshypothese 3

Der Umsatz der Doppelbindungen aller untersuchten Komposite wird mit zunehmender Vorerwärmungstemperatur gesteigert.

Diese Hypothese kann nicht bestätigt werden. Der Doppelbindungsumsatz wird materialspezifisch beeinflusst. Charisma und Kalore zeigen in dieser Studie bei steigender Vorerwärmungstemperatur einen verminderten Doppelbindungsumsatz, während der von Venus Diamond und von Tetric EvoCeram nach einem Abfall bis 50 °C bei 68 °C wieder ansteigt.

Der Doppelbindungsumsatz nach Vorerwärmung wurde in einigen Studien bereits untersucht, jedoch mit unterschiedlichen Resultaten. Während Lohbauer et al. in

einer Studie keine Steigerung des Doppelbindungsumsatzes nach Vorerwärmung des Komposits feststellen [46], weisen Uctasli et al. auf eine Steigerung des Doppelbindungsumsatzes als Vorteil hin [61]. Auch Daronch et al. kommen in ihrer Arbeit zu dem Schluss, dass der Doppelbindungsumsatz durch die Vorbehandlung signifikant gesteigert werde [9].

Der mit zunehmender Vorerwärmungstemperatur sinkende Doppelbindungsumsatz von Charisma und Kalore kann seine Ursache in einer höheren Sauerstoff-Infiltration bei steigender Temperatur haben. Bedingt durch die höhere Temperatur kommt es zu einer höheren Beweglichkeit der Moleküle. Dadurch soll es einerseits nach Janda den Monomermolekülen ermöglicht werden, auch weit entfernt liegende Makromoleküle zu erreichen, was demnach zu einem erhöhten Doppelbindungsumsatz führt [40]. Andererseits ist es jedoch möglich, dass durch die erhöhte Bewegungsenergie [11] vermehrt Sauerstoffmoleküle von der Kompositoberfläche in das Material infiltrieren. Eine Verzögerung der Polymerisationsreaktion kann durch molekularen Sauerstoff bewirkt werden [22], da Sauerstoff als Inhibitor wirkt [29]. So können die Sauerstoffmoleküle vermehrt Einfluss auf die Kettenbildungsabbruchprozesse haben, was zu dem sinkenden Doppelbindungsumsatz der beiden Materialien Charisma und Kalore geführt haben kann. Auch bei Tetric EvoCeram und Venus Diamond kann die mögliche vermehrte Sauerstoffinfiltration zunächst zu einem Abfall des Doppelbindungsumsatzes geführt haben. Die Begründung der Abweichungen bei 68 °C zwischen den verschiedenen Materialien kann in der unterschiedlichen Matrixzusammensetzung liegen. Die in Charisma und Kalore verwendeten Moleküle Bis-GMA und DX-511 weisen sich durch starre Molekülstrukturen aus [42]. UDMA, welches in Tetric EvoCeram und Venus Diamond verwendet wird, ist hingegen für seine flexiblen Strukturen bekannt [35], wodurch die Bewegungsenergie des Moleküls bei 68 °C womöglich der Infiltrationsrate des Sauerstoffs überwiegt. Dementsprechend würde die Polymerisation den Kettenbildungsabbruchprozessen überwiegen. So kann es zum Anstieg des Doppelbindungsumsatzes bei dieser Temperatur kommen. Das Molekül UDMA ist zwar auch Bestandteil in Kalore, doch verfügt die starre Komponente des DX-511 wahrscheinlich über einen größeren Einfluss.

Um die vermutete Begründung des sinkenden Doppelbindungsumsatzes bei höheren Vorerwärmungstemperaturen zu bestätigen, müsste die Sauerstoffinfiltration bei den verschiedenen Temperaturen in einer folgenden Studie gemessen werden.

6.2.4 Diskussion der Arbeitshypothese 4

Es bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen der unterschiedlich zusammengesetzten Komposite.

Diese Hypothese kann nur eingeschränkt bestätigt werden. Während bei den Versuchen zum Temperaturverlauf in der Karpule bei sich unterscheidenden Karpulentypen keine Unterschiede offensichtlich wurden, wie schon von Daronch et al. beschrieben [8], konnten diese Unterschiede bei den Ergebnissen der Auspresskraft festgestellt werden (vgl. Abb. 5-26). Charisma sticht durch seine niedrige Auspresskraft, bereits bei Raumtemperatur, hervor, die mit der aufzubringenden Kraft der drei anderen Komposite bei 50 °C bzw. 68 °C zu vergleichen ist. Ursächlich dafür kann neben der unterschiedlichen Festigkeit der Materialien die voneinander abweichende Geometrie der Düsen der Karpulen sein.

Zwar sinkt die Festigkeit bei zunehmender Vorerwärmungstemperatur bei allen getesteten Kompositen, doch sticht Kalore durch seine hohe Festigkeit hervor. Ursächlich dafür kann das von DuPont entwickelte Matrixmolekül DX-511 sein, das sich durch sein, im Vergleich zu Bis-GMA und UDMA höheres, Molekulargewicht und dem langen, unflexiblen Zentrum des Moleküls auszeichnet [36]. Bei der Klebrigkeit werden bei den verschiedenen Materialien unterschiedliche Werte sichtbar, doch ist das Verhalten bei Temperaturerhöhung sehr ähnlich.

Unterschiede im Verhalten der getesteten Komposite während der Prüfung von Biegefestigkeit und E-Modul konnten bei Temperaturerhöhung nicht festgestellt werden, jedoch wurden Unterschiede im Vergleich der Werte der Materialien untereinander deutlich. Venus Diamond sticht sowohl durch die höchste Biegefestigkeit wie auch durch den höchsten E-Modul hervor. Nach Rzanny et al. ist der E-Modul vom Füllstoffgehalt abhängig [59], was nach dieser Studie jedoch nicht bestätigt werden kann. Denn Kalore und Tetric EvoCeram verfügen über einen entsprechenden Füllstoffgehalt. Möglicherweise hat der UDMA-Anteil von Venus Dia-

mond Einfluss auf die höhere Biegefestigkeit, was Rzanny et al. in ihrer Studie nicht bestätigen [59].

Das temperaturabhängige Verhalten der Materialien hinsichtlich der Schrumpfspannung ist ähnlich, jedoch liegen auch hier Unterschiede zwischen den einzelnen Werten der verschiedenen Komposite vor. Kalore verfügt über die geringste Schrumpfspannung und grenzt sich dadurch von den anderen Materialien, deren Werte höher liegen, ab. Bedingt wird diese geringe Schrumpfspannung von Kalore durch das von DuPont entwickelte Matrixmolekül DX-511, welches über das, im Vergleich zu den drei anderen getesteten Materialien, über das höchste Molekulargewicht verfügt [36, 38]. Dieses hohe Molekulargewicht ist die Ursache für die geringere Schrumpfspannung [36]. Bei den Ergebnissen der Schrumpfmessung sind keine wesentlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Materialien zu erkennen.

Betrachtet man E-Modul, Schrumpf und Schrumpfspannung der Komposite im Zusammenhang und losgelöst von der Temperatur, so fällt auf, dass Venus Diamond, obwohl es wie Kalore über einen geringen Schrumpf verfügt, eine vergleichsweise höhere Schrumpfspannung aufweist. Die Ursache dafür kann im relativ hohen E-Modul gesucht werden, da nach Kunzelmann et al. selbst bei geringer Schrumpfung durch diesen hohen E-Modul große Spannungen hervorgerufen werden können [42].

Bei den Ergebnissen der Polymerisationstiefe bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den unterschiedlich zusammengesetzten Kompositen, was schlussfolgern lässt, dass eine Temperaturerhöhung keine Änderung im Polymerisationsvorgang notwendig macht.

Die auftretenden Unterschiede der Ergebnisse des Umsatzes der Doppelbindungen wurden bereits im Abschnitt 6.2.3 „Diskussion der Arbeitshypothese 3“ erläutert.

6.3 Schlussfolgerung für die Praxis

Die Erwärmung des Komposits vor der Verarbeitung führt, bedingt durch die Abnahme der Festigkeit der Materialien, zu einer vorteilhaften Handhabung. Das Restaurationmaterial kann einfacher in die Kavität eingebracht, adaptiert und konturiert werden.

Jedoch sollte die gewählte Temperatur 50 °C nicht überschreiten, um mögliche Schäden für die Pulpa zu vermeiden. Bei sehr tiefen Präparationen ist es, ebenfalls zum Schutz der Pulpa, ratsam, ganz auf die Vorerwärmung des Komposits zu verzichten.

Die Erwärmungszeit kann auf mindestens 10 Minuten festgelegt werden. In dieser Zeit wird bei den Geräten die Höchsttemperatur erreicht, die jedoch teilweise unter den angegebenen Temperaturen liegt. In dieser Vorerwärmungszeit kann das Material nach der Farbauswahl am Patienten auf die entsprechende Temperatur gebracht werden, während der Zahnarzt exkaviert und präpariert. Ein unnötiger Verlust der Behandlungszeit ist somit nicht die Folge.

Obwohl sich der Doppelbindungsumsatz bei den getesteten Materialien bis 50 °C reduziert, werden die Materialeigenschaften nicht wesentlich negativ beeinflusst. Tendenziell ist das Verhalten der getesteten Materialien bei Temperaturerhöhung ähnlich, jedoch sind dabei materialspezifische Unterschiede, wie auch bei Raumtemperatur, zu beachten. Da es zu keinerlei Veränderungen in der Polymerisationstiefe kommt, kann das Material weiterhin wie gewohnt geschichtet und verarbeitet werden. Der Restmonomergehalt wurde jedoch nicht bestimmt. Es kann nicht gesagt werden, ob es zu einer erhöhten Freisetzung der Monomere in vivo kommt. Hierzu werden weitere Studien nötig sein.

7. Zusammenfassung

7.1 Zusammenfassung deutsch

Einfluss des Vor-Erwärmens auf die Materialeigenschaften dentaler Komposite

Komposite sind heute ein grundlegender Bestandteil der Zahnmedizin und aus dem Praxisalltag nicht mehr wegzudenken. Der häufige Wunsch der Patienten nach einem hochwertigen, ästhetisch und gesundheitlich einwandfreien Füllungs-material und das ständige Streben der Entwickler danach haben u. a. dazu geführt, dass Komposite heutzutage auch im kaulasttragenden Seitenzahngebiet angewendet werden können. Weitere Verbesserungsmöglichkeiten der Kompositeigenschaften und Handhabung dieser Materialien werden fortlaufend angestrebt, wobei ein potentieller Ansatz in der Erwärmung der Komposite vor der Verarbeitung liegt.

Ziel dieser Studie war es, die Wirkung der Erwärmung mittels der Vorerwärmungsgeräte Calset (AdDent Inc.) und Ease-It (Rønvig Dental Mfg. A/S) auf die Materialeigenschaften von Kompositen verschiedener chemischer Zusammensetzung zu untersuchen. Als Testmaterial dienten die Komposite Charisma® und Venus Diamond® (Heraeus Kulzer GmbH), Kalore® (GC Corporation) und Tetric EvoCeram® (Ivoclar Vivadent GmbH). Die zu untersuchenden Vorerwärmungstemperaturen wurden, neben der Raumtemperatur als Referenzwert, bei den Prüfungen der Materialeigenschaften auf 40 °C, 50 °C und 68 °C festgelegt.

Zunächst wurden die Temperaturverläufe innerhalb des jeweiligen Heizgerätes und der Kompositkarpulen von Charisma, Venus Diamond und Tetric Evoceram überprüft, sowie die Tempveränderung innerhalb der Pulpa anhand eines extrahierten und präparierten Zahnes gemessen. Daraufhin wurden die Materialeigenschaften Auspresskraft aus der Karpule, Konsistenz, Initialklebrigkeit, Biegefestigkeit und E-Modul, Schrumpf, Schrumpfspannung, Polymerisationstiefe und Umsatz der Doppelbindungen untersucht.

Das Komposit wurde vor der Prüfung jeweils 10 Minuten in dem entsprechenden Vorerwärmungsgerät auf Temperatur gebracht. Insgesamt gab es für jedes der vier

Materialien pro zu untersuchender Eigenschaft vier Gruppen, entsprechend den Temperaturen ca. 21 °C, 40 °C, 50 °C und 68 °C. Die Probenanzahl innerhalb einer Gruppe variierte bei den jeweiligen Versuchen. So war die Probenanzahl $n = 10$ bei Messung der Auspresskraft mit Hilfe der Universalprüfmaschine Z010 (Fa. Zwick). Die Prüfgeschwindigkeit betrug 50 mm/min, die Vorkraft 5 N und der Prüfweg 7 mm bzw. bei Prüfung der Materialien bei 68 °C betrug die Vorkraft 0,5 N und der Prüfweg 6 mm.

Die Konsistenz und Initialklebrigkeit ($n = 6$) wurde mit dem Texture analyser TA.XT.plus (Fa. Winopal) gemessen. Für die Messung der Biegefestigkeit und des E-Moduls ($n = 10$) nach der DIN EN ISO 4049:2009 wurden die Probekörper auf die Vorrichtung der Universalprüfmaschine Z010 (Fa. Zwick) gebracht und die Werte mit einer Vorlast von 0,4 N und einer Prüfgeschwindigkeit von 0,75 mm/min ermittelt. Der Schrumpf ($n = 10$) wurde innerhalb des AccuPyc 1340 Helium Pyknometers (Micromeritics GmbH) durch Änderung des Heliumdrucks bestimmt. Für die Prüfung der Schrumpfspannung ($n = 3$) wurde sich der photoelastischen Methode bedient. Die Probekörper zur Bestimmung der Polymerisationstiefe ($n = 3$) nach der DIN EN ISO 4049:2009 wurden in einer zylindrischen Form hergestellt und die Schichtdicke dieser Körper gemessen. Zur Bestimmung des Umsatzes der Doppelbindungen ($n = 2$) wurde die Fourier-Transform-IR-Spektroskopie eingesetzt.

Die Pulpensimulation zeigte, dass ein Temperaturanstieg bis zu 12,5 °C zu verzeichnen ist. Bei geringerer Präparationstiefe und niedrigeren Vorerwärmungstemperaturen lag der Temperaturanstieg innerhalb der Pulpa bei bis zu 4,5 °C. Signifikant geringere Auspresskräfte aller getesteten Komposite konnten durch die Vorerwärmung erreicht werden. Bei der Temperatur 50 °C wurden die Kräfte, verglichen mit Raumtemperatur, über 50 % verringert. Auch die Festigkeit konnte mit steigender Vorerwärmungstemperatur reduziert werden, die Prüfung der Initialklebrigkeit wies hingegen keine temperaturabhängige Veränderung auf. Ebenso wurden bei Schrumpf, Polymerisationstiefe, Biegefestigkeit und E-Modul keine Temperaturabhängigkeit festgestellt. Die Anforderungen nach EN ISO 4049 wurden bei den drei letztgenannten Materialeigenschaften erfüllt. Die Schrumpfspannung hingegen zeigte eine leichte Temperaturabhängigkeit. Es konnte festgestellt

werden, dass der Umsatz der Doppelbindungen materialspezifisch beeinflusst wurde. Charisma und Kalore zeigten in dieser Studie bei steigender Vorerwärmungstemperatur einen verminderten Doppelbindungsumsatz, während der von Venus Diamond und von Tetric EvoCeram nach einem Abfall bis 50 °C bei 68 °C wieder anstieg. Tendenziell ist das Verhalten der getesteten Materialien bei Temperaturerhöhung ähnlich.

7.2 Zusammenfassung englisch

Influence of pre-warming of dental composites on their material properties

Composites take an elementary part in dentistry and dental work is not imaginable without them anymore. Requests by patients for high class, aesthetic and hygienic unobjectionable fill material and a permanent effort of the developers have lead, among other things, to the ability of using composite in load-bearing posterior teeth. There is a continuous pursuit for further options of improvement of material properties and handling. Pre-warming composites before using them is seen as one potential approach.

The aim of this study is to examine the impact of the composite heaters Calset (AdDent Inc.) and Ease-It (Rønvig Dental Mfg. A/S) on material properties of composites with different chemical compositions. The composites Charisma® and Venus Diamond® (Heraeus Kulzer GmbH), Kalore® (GC Corporation) and Tetric EvoCeram® (Ivoclar Vivadent GmbH) were used as testing material. The temperatures of 40 °C, 50 °C and 68 °C were determined as testing temperatures with room temperatures as a reference value.

First of all, thermal history within the composite heater and the composite carpules of Charisma, Venus Diamond and Tetric Evoceram were checked in each case. Furthermore, temperature change within the pulp was examined by using an extracted and prepared tooth. Therefore, the material properties dispensing force out of a carpule, consistency, stickiness, flexural strength, Young's modulus, shrinkage, shrinkage stress, curing depth and double bond conversion were investigated.

Before each checking the composite was preheated for 10 minutes. In total, there were four groups for each of the four materials, corresponding to the temperatures of approx. 21 °C, 40 °C, 50 °C and 68 °C. The amount of samples varied from experiment to experiment. Testing the dispensing force using the universal testing machine Z010 (Zwick) the amount of samples was $n = 10$. The testing speed was determined at 50 mm/min, the forward force at 5 N and the testing distance at 7 mm. Respectively, by testing the materials at 68 °C the testing speed was changed to a forward force of 5 N, the testing speed to 6 mm. Consistency and stickiness ($n = 6$) were measured with the texture analyzer TA.XT.plus (Winopal). For measuring flexural strength and Young's modulus ($n = 10$) according to DIN EN ISO 4049:2009, the test pieces were positioned on the corresponding appliance of the universal testing machine Z010 (Zwick). The preload was determined at 0,4 N, the testing speed at 0,75 mm/min. Shrinkage was analyzed by using the AccuPyc 1340 helium pycnometer (Micromeritics GmbH) through altering the pressure of helium gas. For testing shrinkage stress ($n = 3$) photoelastic method was used. Test pieces for testing curing depth ($n = 3$) were produced in a cylindrical form and thickness of the polymerized composite was measured according DIN EN ISO 4049:2009. The Fourier transform infrared spectroscopy was utilized for measuring double bond conversion.

The pulp simulation showed an increase of temperature within the pulp up to 12,5 °C. Significant lower dispensing force of all tested composites could be achieved because of pre-warming. At 50 °C forces could be reduced by more than 50 %, compared to those of room temperature. Consistency was also decreased while increasing pre-warming temperature. The examination of stickiness did not show any temperature-dependent change. Furthermore, shrinkage, Young's modulus, flexural strength and curing depth were not affected by temperature change. The three last mentioned properties fulfilled the requirement defined in DIN EN ISO 4049:2009. Shrinkage stress on the other hand showed a slight dependence on temperature. It could be proved that double bond conversion was influenced specifically depending on the material tested. Charisma and Kalore showed an increased double bond conversion with increasing pre-warming temperature, while Venus Diamond and Tetric EvoCeram displayed a depression until 50 °C and an increase at 68 °C.

8. Anhang

8.1 Materialien, Geräte und Software

Verwendete Materialien:

Araldit-B-Platten	Tiedemann & Betz GmbH & Co. KG Garmisch-Partenkirchen, Deutschland
Charisma®	Heraeus Kulzer GmbH Hanau, Deutschland
ESPE Sil	3M ESPE AG Seefeld, Deutschland
Kalore®	GC Corporation Tokyo, Japan
Rocatec plus	3M ESPE AG Seefeld, Deutschland
Tetric Evo Ceram®	Ivoclar Vivadent GmbH Ellwangen, Deutschland
Venus Diamond®	Heraeus Kulzer GmbH Hanau, Deutschland
Visio™-Bond	3M ESPE AG Seefeld, Deutschland

Verwendete Geräte:

AccuPyc 1340	Micromeritics GmbH Aachen, Deutschland
AT 261 DeltaRange	Mettler-Toledo GmbH Gießen, Deutschland
Calset™ Compule Heater	AdDent Inc. Danbury, Connecticut, USA
Cure Rite™ Light Meter	DENTSPLY Caulk Milford, USA

Ease-It™ Composite Softener	Rønvig Dental Mfg. A/S Daugaard, Dänemark
FT-IR Spektroskop	PerkinElmer Inc. Massachusetts, USA
Lichtmikroskop Steri 2000	Carl Zeiss AG Oberkochen, Deutschland
Mavolux 5032C	Gossen Foto- und Lichtmesstechnik GmbH Nürnberg, Deutschland
Optische Filter	Qioptiq Photonics GmbH & Co. KG Feldkirchen, Deutschland
Stoppuhr	Uhrenfabrik Junghans GmbH & Co.KG Schramberg, Deutschland
TA.XTplus (Texture Anaylser)	Winopal Forschungsbedarf GmbH Ahnsbeck, Deutschland
Testo 735	Testo AG Lenzkirch, Deutschland
Translux Energy	Heraeus Kulzer GmbH Hanau, Deutschland
Universalprüfmaschine Z010	Zwick GmbH & Co. KG Ulm, Deutschland

Verwendete Software:

Motic Images Plus 2.0 ML	Motic Deutschland GmbH Wetzlar, Deutschland
Spectrum v5.3.1	PerkinElmer Inc. Massachusetts, USA
Texture analyser TA.XT.plus	Winopal Forschungsbedarf GmbH Ahnsbeck, Deutschland
testXpert V10.11	Zwick Roell AG Ulm, Deutschland

8.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: Chemische Struktur Bis-GMA	5
Abb. 2-2: Chemische Struktur TEGDMA.....	5
Abb. 2-3: Chemische Struktur UDMA	6
Abb. 2-4: Chemische Struktur Bis-EMA.....	6
Abb. 2-5: Chemische Struktur DX-511.....	7
Abb. 2-6: Chemische Struktur TCD-DI-HEA.....	7
Abb. 2-7: Chemische Struktur Kampferchinon	8
Abb. 2-8: Chemische Struktur Hydrochinon	8
Abb. 4-1: Versuchsvernetzung Temperaturverlauf Heizgerät und Karpule.....	30
Abb. 4-2: Ease-It™ Composite Heater (RØNVIG Dental Mfg. A/S)	31
Abb. 4-3: Calset™ Compule Heater (AdDent, Inc.) mit Karpule und inserterter Messsonde.....	31
Abb. 4-4: Versuchsaufbau Temperaturverlauf Pulpencavum	32
Abb. 4-5: Grafische Darstellung Versuchsaufbau Temperaturverlauf im Pulpencavum.....	32
Abb. 4-6: Prüfung werkstoffrelevanter Eigenschaften.....	33
Abb. 4-7: Allg. Versuchsvorbereitung der Komposite	34
Abb. 4-8: Versuchsablauf Auspresskräfte aus Karpule	35
Abb. 4-9: Universalprüfmaschine Z010 zur Messung der Auspresskraft	35
Abb. 4-10: Grafische Darstellung der Auspresskraft am Bsp. von Venus Diamond 50 °C.....	36
Abb. 4-11: Versuchsablauf Festigkeit und Initialklebrigkeit	37
Abb. 4-12: durch Metallgewicht beschwerter Kunststoffsockel	38
Abb. 4-13: Texture analyser TA.XT.plus (Fa. Winopal).....	38
Abb. 4-14: Grafische Darstellung der Konsistenz am Bsp. von Venus Diamond 50 °C.....	39
Abb. 4-15: Grafische Darstellung der Initialklebrigkeit am Bsp. von Charisma 50 °C	40
Abb. 4-16: Versuchsablauf Biegefestigkeit und E-Modul.....	40
Abb. 4-17: Form zur Herstellung der Biegefestigkeitsprobekörper	41
Abb. 4-18: Form zur Herstellung von fünf Probestäbchen.....	41
Abb. 4-19: Universalprüfmaschine Z010 (Fa. Zwick)	42

Abb. 4-20: Eingebrachter Prüfkörper zu Beginn der Belastung.....	43
Abb. 4-21: Eingebrachter Prüfkörper während der Belastung.....	43
Abb. 4-22: Grafische Darstellung der Biegefestigkeit am Bsp. von Charisma 50° C.....	44
Abb. 4-23: Versuchsablauf Schrumpf.....	44
Abb. 4-24: AccuPyc 1340 Helium Pyknometer (Micromeritics GmbH)	45
Abb. 4-25: Probebehälter neben dem luftdicht verschließbaren Prüfraum.....	45
Abb. 4-26: Versuchsablauf Schrumpfkraft.....	46
Abb. 4-27: Araldit-B-Platte (Tiedemann & Betz GmbH & Co. KG)	46
Abb. 4-28: Querschnitt Araldit-B-Platte während der Polymerisation	47
Abb. 4-29: Polymerisation des Komposits in Araldit-B-Platte durch Translux Energy.....	47
Abb. 4-30: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Darstellung der Schrumpfspannung mittels spannungsoptischer Methode	48
Abb. 4-31: Entstandene Isochromatenringe	48
Abb. 4-32: Lichtmikroskop Steri 2000 (Zeiss)	49
Abb. 4-33: Filter des Lichtmikroskops	49
Abb. 4-34: Versuchsablauf Polymerisationstiefe	50
Abb. 4-35: Form zur Herstellung des Probenkörpers zur Messung der Polymerisationstiefe	51
Abb. 4-36: Form zur Herstellung des Probenkörpers zur Messung der Polymerisationstiefe	51
Abb. 4-37: Versuchsablauf Umsatz der Doppelbindungen.....	52
Abb. 4-38: Metallschablone mit Öffnung für das Probenmaterial	52
Abb. 4-39: FT-IR Spektroskop (PerkinElmer Inc.), unverdeckt.....	53
Abb. 4-40: FT-IR Spektroskop (PerkinElmer Inc.), bedeckt.....	53
Abb. 4-41: Polymerisation des Probenmaterials.....	53
Abb. 5-1: Temperaturverlauf Calset 37 °C	55
Abb. 5-2: Temperaturverlauf Calset 54 °C	55
Abb. 5-3: Temperaturverlauf Calset 68 °C	56
Abb. 5-4: Temperaturverlauf Ease-It 40 °C	56
Abb. 5-5: Temperaturverlauf Ease-It 45 °C	57
Abb. 5-6: Temperaturverlauf Calset 50 °C	57
Abb. 5-7: Temperaturverlauf Charisma 37 °C	58

Abb. 5-8: Temperaturverlauf Venus Diamond 37 °C	58
Abb. 5-9: Temperaturverlauf Tetric EvoCeram 37 °C	59
Abb. 5-10: Temperaturverlauf Charisma 40 °C.....	59
Abb. 5-11: Temperaturverlauf Venus Diamond 40 °C.....	60
Abb. 5-12: Temperaturverlauf Tetric EvoCeram 40 °C.....	60
Abb. 5-13: Temperaturverlauf Charisma 45 °C.....	61
Abb. 5-14: Temperaturverlauf Venus Diamond 45 °C.....	61
Abb. 5-15: Temperaturverlauf Tetric EvoCeram 45 °C.....	61
Abb. 5-16: Temperaturverlauf Charisma 50 °C.....	62
Abb. 5-17: Temperaturverlauf Venus Diamond 50 °C.....	62
Abb. 5-18: Temperaturverlauf Tetric EvoCeram 50 °C.....	62
Abb. 5-19: Temperaturverlauf Charisma 54 °C.....	63
Abb. 5-20: Temperaturverlauf Venus Diamond 54 °C.....	63
Abb. 5-21: Temperaturverlauf Tetric EvoCeram 54 °C.....	64
Abb. 5-22: Temperaturverlauf Charisma 68 °C.....	64
Abb. 5-23: Temperaturverlauf Venus Diamond 68 °C.....	65
Abb. 5-24: Temperaturverlauf Tetric EvoCeram 68 °C.....	65
Abb. 5-25: Temperaturverlauf Pulpa	66
Abb. 5-26: Auspresskräfte aus PLT.....	67
Abb. 5-27: Festigkeit.....	68
Abb. 5-28: Initialklebrigkeit.....	69
Abb. 5-29: Biegefestigkeit.....	71
Abb. 5-30: E-Modul	72
Abb. 5-31: Schrumpf.....	73
Abb. 5-32: Schrumpfspannung 1h-Werte.....	74
Abb. 5-33: Schrumpfspannung 24h-Werte	74
Abb. 5-34: Schrumpfspannung 1-h-Wert Charisma 40 °C (3. Probe).....	75
Abb. 5-35: Schrumpfspannung 24-h-Wert Charisma 40 °C (3. Probe)	76
Abb. 5-36: Schrumpfspannung Charisma.....	76
Abb. 5-37: Schrumpfspannung Venus Diamond.....	77
Abb. 5-38: Schrumpfspannung Tetric EvoCeram	78
Abb. 5-39: Schrumpfspannung Kalore.....	79
Abb. 5-40: Polymerisationstiefe.....	81
Abb. 5-41: Doppelbindungsumsatz nach Belichtung.....	82

Abb. 5-42: Doppelbindungsumsatz nach 10 Minuten	83
Abb. 5-43: Doppelbindungsumsatz Charisma	84
Abb. 5-44: Doppelbindungsumsatz Venus Diamond	84
Abb. 5-45: Doppelbindungsumsatz Tetric EvoCeram	85
Abb. 5-46: Doppelbindungsumsatz Kalore	85

8.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Materialienübersicht.....	26
Tabelle 4-2: Zusammensetzung Charisma	27
Tabelle 4-3: Zusammensetzung Venus Diamond	27
Tabelle 4-4: Zusammensetzung Kalore	28
Tabelle: 4-5: Zusammensetzung Tetric EvoCeram.....	29
Tabelle 5-1: Temperaturverlauf Pulpa	65
Tabelle 5-2: Auspresskraft.....	66
Tabelle 5-3: Festigkeit.....	68
Tabelle 5-4: Initialklebrigkeit	70
Tabelle 5-5: Biegefestigkeit	71
Tabelle 5-6: E-Modul	72
Tabelle 5-7: Schrumpfspannung Charisma.....	77
Tabelle 5-8: Schrumpfspannung Venus Diamond.....	78
Tabelle 5-9: Schrumpfspannung Tetric EvoCeram.....	79
Tabelle 5-10: Schrumpfspannung Kalore.....	80
Tabelle 5-11: Polymerisationstiefe.....	81
Tabelle 5-12: Doppelbindungsumsatz nach Belichtung.....	82
Tabelle 5-13: Doppelbindungsumsatz nach 10 Minuten	83

8.4 Literaturverzeichnis

1. AddDent I: Calset TM Composite Warmer. The Dental Advisor.
<http://www.addent.com/docs/brochures/calset/3panel-inside-revised.pdf>
(Zugriff 19.12.2012)
2. Al-Sharaa KA, Watts DC: Stickiness prior to setting of some light cured resin-composites. Dental Materials 19: 182-187 (2003)
3. Bowen R: Properties of a silica-reinforced polymer for dental restorations. J Am Dent Assoc 66: 57-64 (1963)
4. Chen M: Update on dental nanocomposites. J Dent Res 89: 549-560 (2010)
5. Cook W, Forrest M, Goodwin A: A simple method for the measurement of polymerization shrinkage in dental composites. Dent Mater 15: 447-449 (1999)
6. Çörekçi B, Malkoç S, Öztürk B, Gündüz B, Toy E: Polymerization capacity of orthodontic composites analyzed by Fourier transform infrared spectroscopy. Am J Orthod Dentofac Orthop 139: e299 (2011)
7. Craig RG, Powers JM, Wataha JC: Zahnärztliche Werkstoffe. Eigenschaften und Verarbeitung. Elsevier, Urban & Fischer, München (2006)
8. Da Costa JB, Hilton N TJ, Swift Jr. EJ: Preheating Composites. J Esthet Restor Dent 23: 269-275 (2011)
9. Daronch M, Rueggeberg F, Goes M de: Monomer Conversion of Pre-heated Composite. J Dent Res 84: 663-667 (2005)
10. Daronch M, Rueggeberg F, Hall G, Degoes M: Effect of composite temperature on in vitro intrapulpal temperature rise. Dent Mater 23: 1283-1288 (2007)
11. Daronch M, Rueggeberg FA, Goes MF de, Giudici R: Polymerization kinetics of pre-heated composite. J Dent Res 85: 38-43 (2006)
12. Daronch M, Rueggeberg FA, Moss L, goes mf de: Clinically Relevant Issues Related to Preheating Composites. J Esthet Restor Dent 18: 340-350 (2006)

13. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Zahnheilkunde - Polymerbasierende Restaurationsmaterialien (ISO 40049:2009). Beuth Verlag GmbH, Berlin (2009)
14. Dopheide B, Heiss M, Lee R, Reinfelds K: GC Kalore Technical Manual. the science behind the smile (2011)
15. Engels B, Fink R, Schirmeister T, Schmuck C: Chemie für Mediziner. Addison Wesley in Pearson Education Deutschland, München (2008)
16. Einwag J, Pieper K: Kinderzahnheilkunde. Elsevier, Urban & Fischer, München, Jena (2008)
17. Ernst C: Update Komposite: Einführung – Teil 2 | ZMK-aktuell.de | Zahnheilkunde. <http://www.zmk-aktuell.de/zahnheilkunde/zahnerhaltung/story/update-komposite-einfuehrung-teil-2.html> (Zugriff 13.03.2012)
18. Ernst C, Brandenbusch M, Meyer G, Canbek K, Gottschalk F, Willershausen B: Two-year clinical performance of a nanofiller vs a fine-particle hybrid resin composite. Clin Oral Investig 10: 119-125 (2006)
19. Ernst C, Meyer GR, Klöcker K, Willershausen B: Determination of polymerization shrinkage stress by means of a photoelastic investigation. Dent Mater 20: 313-321 (2004)
20. Ertl K, Graf A, Watts D, Schedle A: Stickiness of dental resin composite materials to steel, dentin and bonded dentin. Dent Mater 26: 59-66 (2010)
21. Esstech, Inc.: Esstech Specialty Chemicals. catalog.esstechinc.com (Zugriff 18.04.2012)
22. Faltermeier A: Werkstoffe in der Zahnmedizin. In: Werkstoffe in der Zahnmedizin. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2008)
23. Ferracane JL: Developing a more complete understanding of stresses produced in dental composites during polymerization. Dent Mater 21: 36-42 (2005)
24. Frankenberger R: Adhäsiv-Fibel. Adhäsive Zahnmedizin - Wege zum klinischen Erfolg. Spitta-Verl, Balingen (2010)

25. Frankenberger R, Petschelt A, Krämer N. In: Einwag J (Hrsg): Kinderzahnheilkunde. Elsevier, Urban & Fischer, München; Jena, 136-155 (2008)
26. Frauscher KE, Ilie N: Depth of cure and mechanical properties of nano-hybrid resin-based composites with novel and conventional matrix formulation. Clin Oral Investig 16: 1425-34 (2012)
27. Fróes-Salgado NR, Silva LM, Kawano Y, Francci C, Reis A, Loguercio AD: Composite pre-heating: Effects on marginal adaptation, degree of conversion and mechanical properties. Dent Mater 26: 908-914 (2010)
28. GC Corporation: Kalore. Technical Manual.
http://www.gcamerica.com/products/operator/KALORE/KALORE_Technical_Manual.pdf, (Zugriff 18.04.2012)
29. Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie: mit 60 Tabellen. Dt. Zahnärzte-Verl., Köln (2009)
30. Heraeus Kulzer GmbH: Heraeus Kulzer - Charisma® filling materials.
http://heraeus-dental.com/en/products/dentistry/fillingmaterials/charisma_1/filling_materials.aspx (Zugriff 26.01.2012)
31. Heraeus Kulzer GmbH: Venus® Diamond. Gebrauchsanweisung.
http://heraeus-venus.com/de/de/venusmaster_1_1/fachinformationen_1_1/startseite_4.html (Zugriff 19.12.2012)
32. Heraeus Kulzer GmbH: CHARISMA®. Gebrauchsanweisung.
http://webmedia.heraeus.com/media/hkg/general_1/gbas/charisma/W04626_DE_IN_08_2009.pdf (Zugriff 19.12.2012)
33. Heraeus Kulzer GmbH: Charisma® und Charisma® flow. Produktinformation,
http://heraeus-dental.de/media/webmedia_local/productdownloads/a_c/charisma/Charisma_Broschuere_D.pdf (Zugriff 20.12.2012)
34. Ilie N, Hickel R: Resin composite restorative materials. Aust Dent J 56: 59-66 (2011)
35. Ilie N, Kunzelmann K, Hickel R: Werkstoffkundliche Untersuchungen zu Kompositen. Dtsch Zahnärztl Z 60: 321-334 (2005)

36. Ilie N, Rencz A, Hickel R: Investigations towards nano-hybrid resin-based composites. Clin Oral Investig (Epub 2012 Mar 6)
37. Ivoclar Vivadent GmbH: Tetric EvoCeram. Gebrauchsinformation.
<http://www.ivoclarvivadent.de/de-de/alle-produkte/produkte/fuellungsmaterialien/composites/tetric-evoceram-> (Zugriff 20.12.2012)
38. Janda R: Organische Polymere: Chemie und Physik, Teil I. Quintessenz Zahntech 34: 190-204 (2008)
39. Janda R: Organische Polymere: Chemie und Physik, Teil II. Quintessenz Zahntech 34: 460-473 (2008)
40. Janda R: Organische Polymere: Chemie und Physik, Teil III. Quintessenz Zahntech 34: 584-594 (2008)
41. Kaleem M, Satterthwaite JD, Watts DC: Effect of filler particle size and morphology on force/work parameters for stickiness of unset resin-composites. Dent Mater 25: 1585-1592 (2009)
42. Kappert HF, Eichner K, Borchers L: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Band 2. Georg Thieme, Stuttgart (2008)
43. Kim K, Ong JL, Okuno O: The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. J Prosthet Dent 87: 642-649 (2002)
44. Lehmann KM, Hellwig E, Lehmann-Hellwig: Zahnärztliche Propädeutik. Elsevier, Urban & Fischer, München (2005)
45. Lendenmann U, Wanner M: Tetric EvoCeram®. Wissenschaftliche Dokumentation,
<http://www.ivoclarvivadent.de/de/produkte/fuellungsmaterialien/composites/tetric-evoceram> (Zugriff 26.01.2012)
46. Lohbauer U, Zinelis S, Rahiotis C, Petschelt A, Eliades G: The effect of resin composite pre-heating on monomer conversion and polymerization shrinkage. Dent Mater 25: 514-519 (2009)
47. Lutz F, Phillips RW: A classification and evaluation of composite resin systems. J Prosthet Dent 50: 480-488 (1983)

48. Marxkors R, Meiners H, Geis-Gerstorfer J: Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. Vom Defekt zur Restauration ; mit 11 Tabellen. Dt. Zahnärzte-Verl., Köln (2008)
49. Melo Monteiro GQ de, Montes MAJR, Rolim TV, Oliveira Mota CCB de, Barros Correia Kyotoku B de, Gomes ASL, Freitas AZ de: Alternative methods for determining shrinkage in restorative resin composites. Dent Mater 27: e176-85 (2011)
50. Miletic V, Ivanovic V, Dzeletovic B, Lezaja M: Temperature changes in silorane-, ormocer-, and dimethacrylate-based composites and pulp chamber roof during light-curing. J Esthet Restor Dent 21: 122-131 (2009)
51. Muñoz CA, Bond PR, Sy-Muñoz J, Tan D, Peterson J: Effect of pre-heating on depth of cure and surface hardness of light-polymerized resin composites. Am J Dent 21: 215-222 (2008)
52. Nada K, El-Mowafy O: Effect of Precuring Warming on Mechanical Properties of Restorative Composites. Int J Dent 2011: 2011:536212 . doi: 10.1155/2011/536212 . (Epub 2011 Oct 27)
53. Roberts HW: Commentary. Silorane-Based Composite: Depth of Cure, Surface Hardness, Degree of Conversion, and Cervical Microleakage in Class II Cavities. J Esthet Restor Dent 23: 336-337 (2011)
54. RØNVIG Dental Mfg. A/S: Ease-It Composite Heater. Anleitung.
<http://www.ronvig.com/Files/downloads/1instructions/ease-it.pdf> (Zugriff 19.12.2012)
55. RØNVIG Dental Mfg. A/S: Instruments for Composites. EASE-IT Composite Softener. Informationsbroschüre.
<http://www.ronvig.com/Files/Downloads/5Loesblade/EASE-IT.pdf> (Zugriff 20.12.2012)
56. Roos E, Maile K: Werkstoffkunde für Ingenieure. Grundlagen, Anwendung, Prüfung. Springer, Heidelberg (2011)
57. Rueggerberg FA, Caughman W, Curtis JJ: Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. Oper Dent 19: 26-32 (1994)

58. Rullmann I, Schattenberg A, Marx M, Willershausen B, Ernst C: Photoelastic determination of polymerization shrinkage stress in low-shrinkage resin composites. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 122: 294-299 (2012)
59. Rzanny A, Göbel R, Küpper H: Ein methacrylatfreies Seitenzahnkomposit im werkstoffkundlichen Vergleich mit Nano-, Nanohybrid- und Hybridkompositen. *ZWR* 119: 406-414 (2010)
60. Stansbury JW: Dimethacrylate network formation and polymer property evolution as determined by the selection of monomers and curing conditions. *Dent Mater* 28: 13-22 (2012)
61. Uctasli MB, Arisu HD, Lasilla LVJ, Valittu PK: Effect of preheating on the mechanical properties of resin composites. *Eur J Dent* 2: 263-268 (2008)
62. Utterodt, Andreas, Ruppert et al.: Dental composites with Tricyclo[5.2.0.2.6]decane derivatives - Heraeus Kulzer GmbH.
<http://www.freepatentsonline.com/EP1935393.html>, (Zugriff 19.03.2012)
63. Wagner WC, Aksu MN, Askur MN, Neme AL, Linger JB, Pink FE, Walker S: Effect of pre-heating resin composite on restoration microleakage. *Oper Dent* 33: 72-78 (2008)
64. Webb PA, Clyde Orr RW, Camp JO: *Analytical Methods in Fine Particle Technology*, Aachen (1997)
65. Yazici AR, Müftü A, Kugel G, Perry RD: Comparison of temperature changes in the pulp chamber induced by various light curing units, in vitro. *Oper Dent* 31: 261-265 (2006)
66. Zimmerli B, Strub M, Jeger F, Stadler O, Lussi A: Composite materials: composition, properties and clinical applications. A literature review. *Schweiz*

8.5 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren:

Ahrweiler

Frankenberger

Geks

Gente

Grosse

Höffken

Jablonski- Momeni

Korbmacher-Steiner

Lamp

Lotzmann

Lüers

Mandic

Milani

Mittag

Moll

Neff

Nonnenmacher

Pieper

Printz

Ramaswamy

Steiniger

Suske

8.6 Danksagung

Mein Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. Roland Frankenberger für die Überlassung des Dissertationsthemas, seine Unterstützung und Betreuung.

Des Weiteren danke ich der Abteilung Forschung und Entwicklung der Hereaus Kulzer GmbH unter der Leitung von Herrn Dr. Andreas Utterodt und seinem Team, insbesondere Frau Nelly Schönhof, Herrn Michael Eck, Herrn Kurt Reischl und Frau Christine Hiersekorn, für die Bereitstellung der Geräte und Materialien sowie die immer freundliche und kompetente Einweisung und Beratung.

Ich danke der GC Corporation für die Bereitstellung des Materials Kalore.

Bei der Landes Zahnärztekammer Hessen möchte ich mich herzlichst für die Unterstützung und Förderung meines Promotionsvorhabens danken.

Mein ganz besonderer Dank geht an meine Familie und Freunde für die Unterstützung und stetige Motivation.

9. Anlagenverzeichnis und Anlagen

Anlage 1	Auspresskraft
Anlage 2	Festigkeit
Anlage 3	Initialklebrigkeit
Anlage 4	Biegefestigkeit und E-Modul

Anlage 1

Auspresskraft

Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Charisma
Farbe : A3
Charge : 010337

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 21°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 02.03.2011

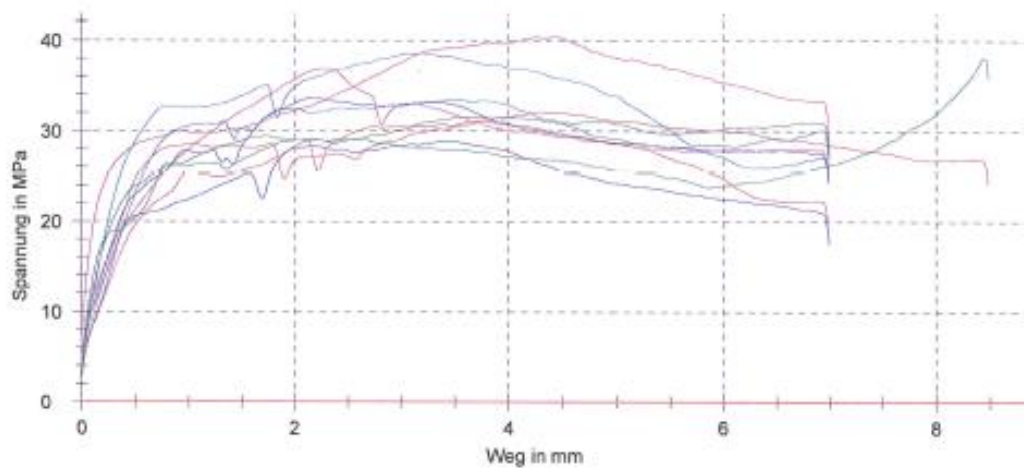
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	32,10
	2	38,10
	3	28,86
	4	38,57
	5	36,87
	6	31,00
	7	31,51
	8	33,60
	9	33,45
	10	40,33

Statistik:

Serie n = 10	F Max N
\bar{x}	34,44
s	3,80
v	11,02



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Charisma
Farbe : A3
Charge : 010337

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 37°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 02.03.2011

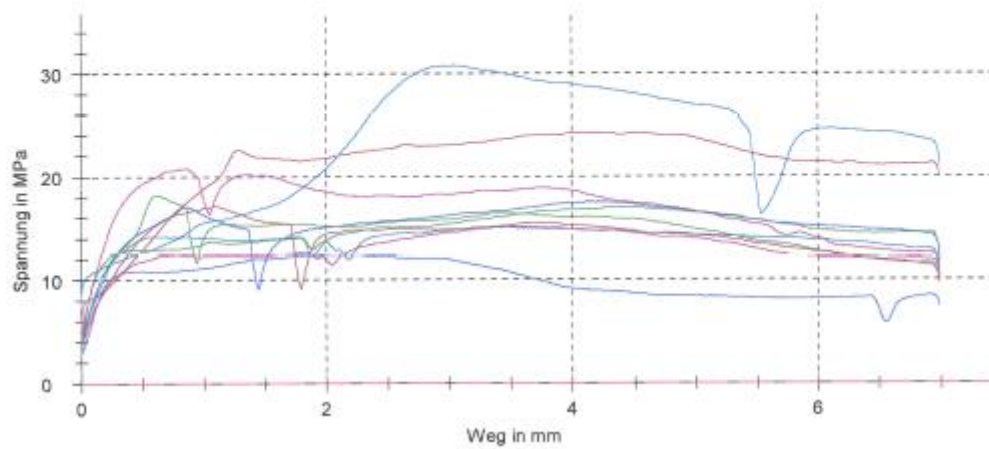
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	24,20
	2	18,22
	3	12,42
	4	15,06
	5	15,19
	6	17,11
	7	17,03
	8	17,52
	9	30,76
	10	20,78

Statistik:

Serie n = 10	F Max N
x	18,83
s	5,29
v	28,10



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Charisma
Farbe : A3
Charge : U10337

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 40°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 02.03.2011

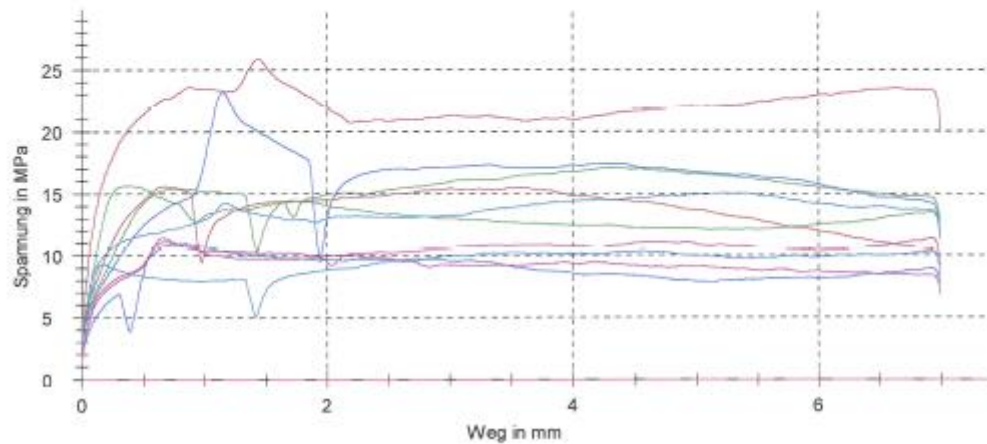
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	15,58
	2	17,12
	3	10,93
	4	10,32
	5	11,43
	6	25,86
	7	15,63
	8	23,18
	9	15,04
	10	11,11

Statistik:

Gesamt $n = 10$	F Max N
\bar{x}	15,62
s	5,30
v	33,91



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Charisma
Farbe : A3
Charge : 010337

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 45°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 02.03.2011

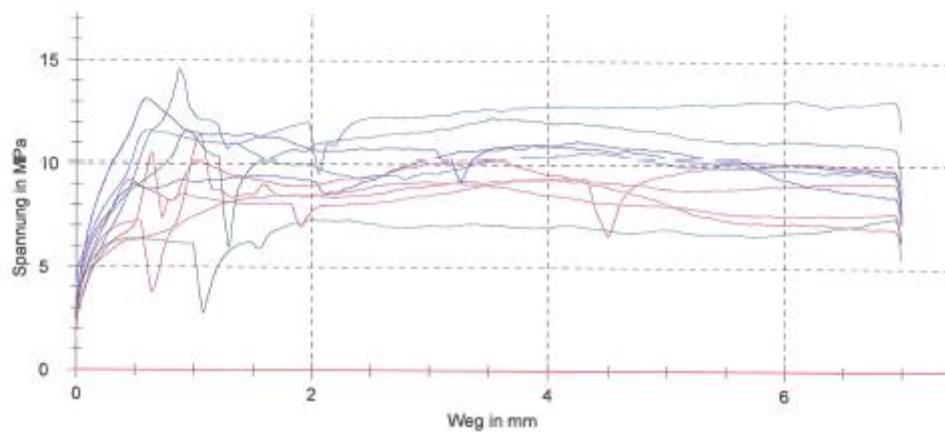
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	10,53
	2	12,26
	3	13,13
	4	13,15
	5	9,14
	6	11,44
	7	7,44
	8	10,93
	9	14,59
	10	9,26

Statistik:

Serie	F Max N
n = 10	
\bar{x}	11,19
s	2,18
v	19,50



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Charisma
Farbe : A3
Charge : 010337

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 50°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 02.03.2011

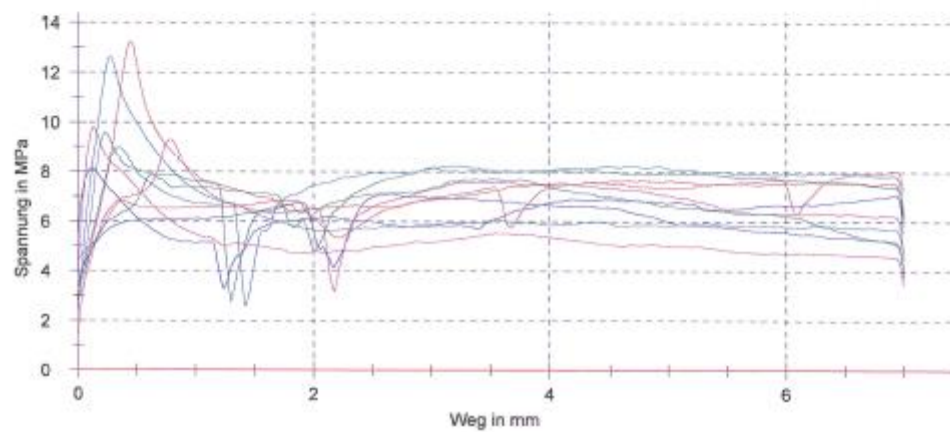
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	8,06
	2	8,25
	3	7,12
	4	12,63
	5	9,28
	6	13,23
	7	9,57
	8	8,13
	9	8,96
	10	9,78

Statistik:

Serie	F Max N
n = 10	
x	9,50
s	1,98
v	20,84



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material : Charisma
Farbe : A3
Charge : 010337

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 54°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 02.03.2011

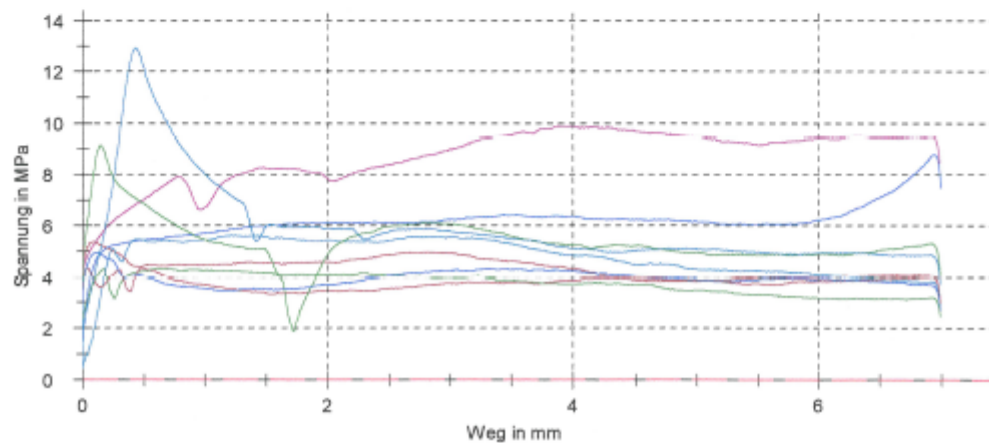
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	5,36
	2	4,33
	3	8,77
	4	5,62
	5	9,90
	6	5,19
	7	9,11
	8	4,94
	9	12,81

Statistik:

Serie	F Max N
n = 9	
x	7,35
s	2,94
v	40,01



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Charisma
Farbe : A3
Charge : 010337

Vorkraft: 0,5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 68°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 02.03.2011

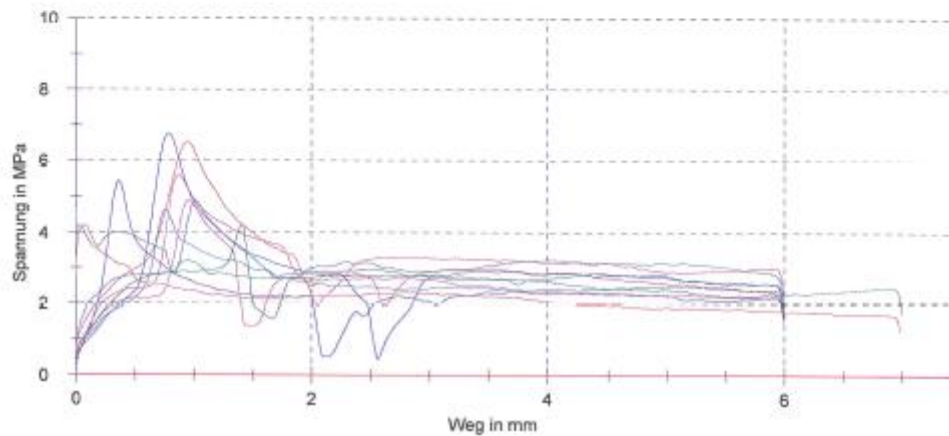
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	4,18
	2	4,65
	3	5,44
	4	4,87
	5	4,88
	6	6,53
	7	4,22
	8	6,76
	9	4,62
	10	5,60

Statistik:

Serie	F Max N
n = 10	
\bar{x}	5,18
s	0,90
v	17,35



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Venus Diamond
Farbe : A3
Charge : 010038

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 21°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 02.03.2011

Vorkraft: 5 N

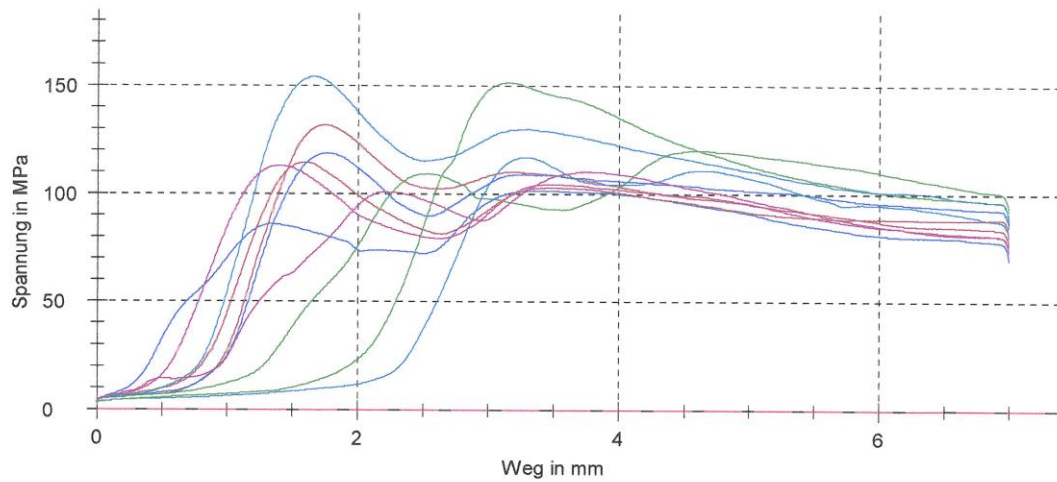
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	131,84
	2	120,13
	3	101,55
	4	116,97
	5	113,10
	6	114,62
	7	151,45
	8	118,75
	9	154,14
	10	110,31

Statistik:

Serie n = 10	F Max N
\bar{x}	123,29
s	17,35
v	14,07



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Venus Diamond
Farbe : A3
Charge : 010038

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 37°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 02.03.2011

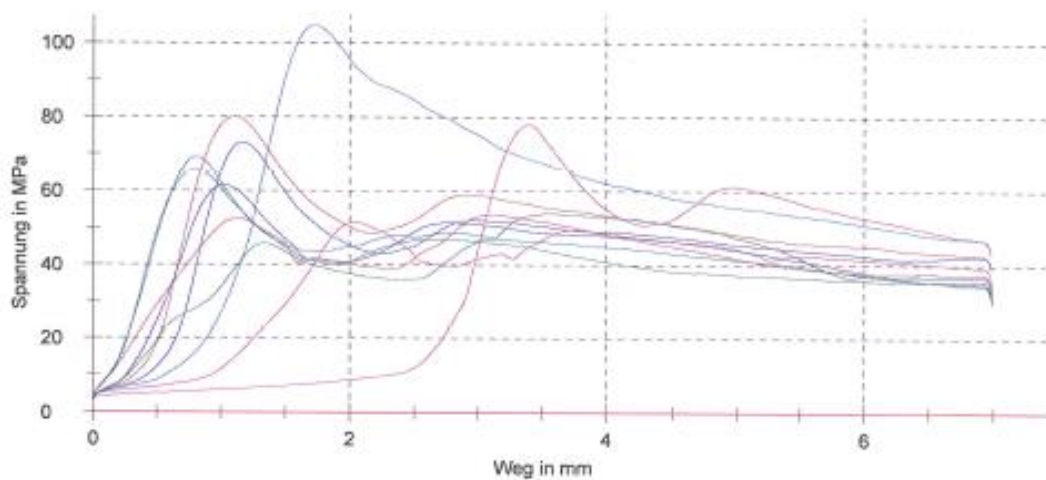
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	80,08
	2	65,68
	3	72,98
	4	69,07
	5	51,39
	6	53,65
	7	53,98
	8	61,47
	9	104,78
	10	77,30

Statistik:

Serie n = 10	F Max N
\bar{x}	69,10
s	16,12
v	23,32



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Venus Diamond
Farbe : A3
Charge : 010038

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 40°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 02.03.2011

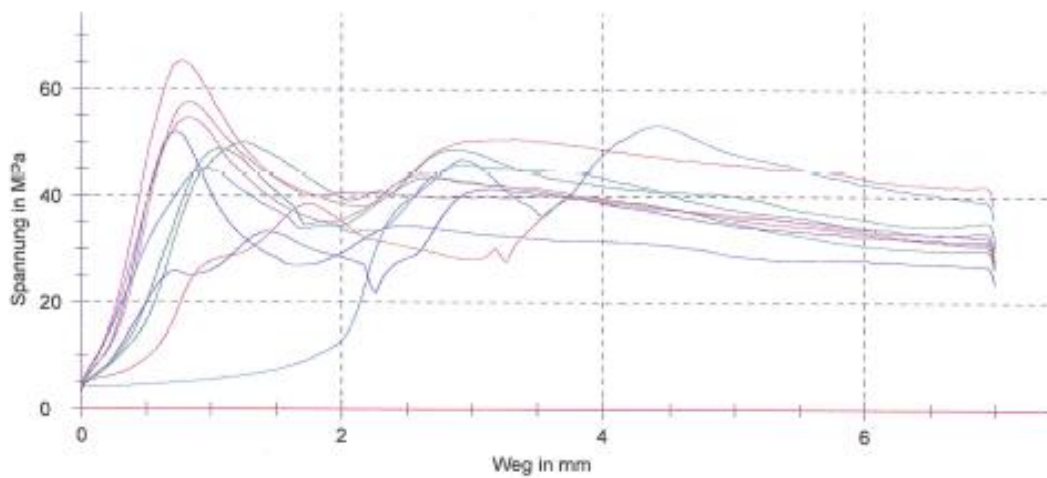
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	40,05
	2	48,84
	3	52,00
	4	53,24
	5	65,27
	6	57,54
	7	50,03
	8	41,41
	9	45,71
	10	54,57

Statistik:

Serie n = 10	F Max N
x	50,87
s	7,53
v	14,81



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Venus Diamond
Farbe : A3
Charge : 010038

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 45°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 02.03.2011

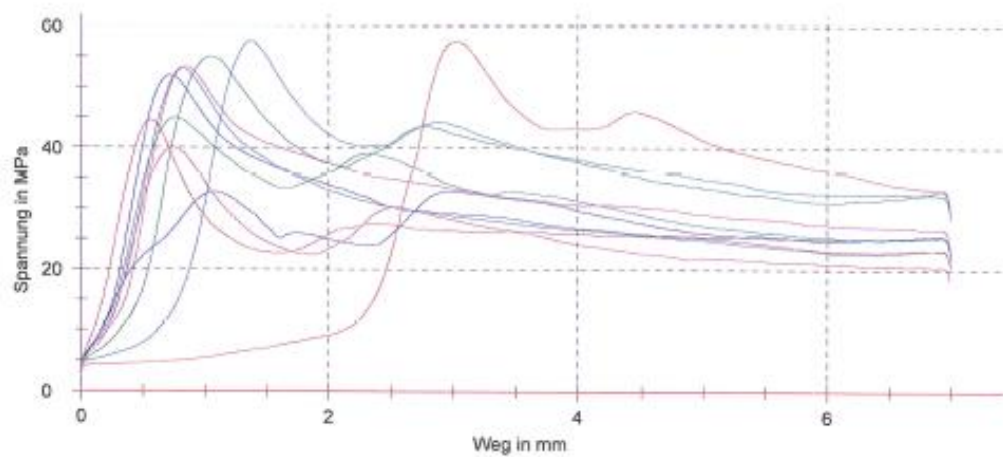
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	57,45
	2	44,96
	3	51,87
	4	53,05
	5	53,24
	6	44,52
	7	55,01
	8	32,89
	9	57,60
	10	40,04

Statistik:

Serie	F Max N
n = 10	
\bar{x}	49,00
s	8,17
v	16,64



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Venus Diamond
Farbe : A3
Charge : 010038

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 50°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 02.03.2011

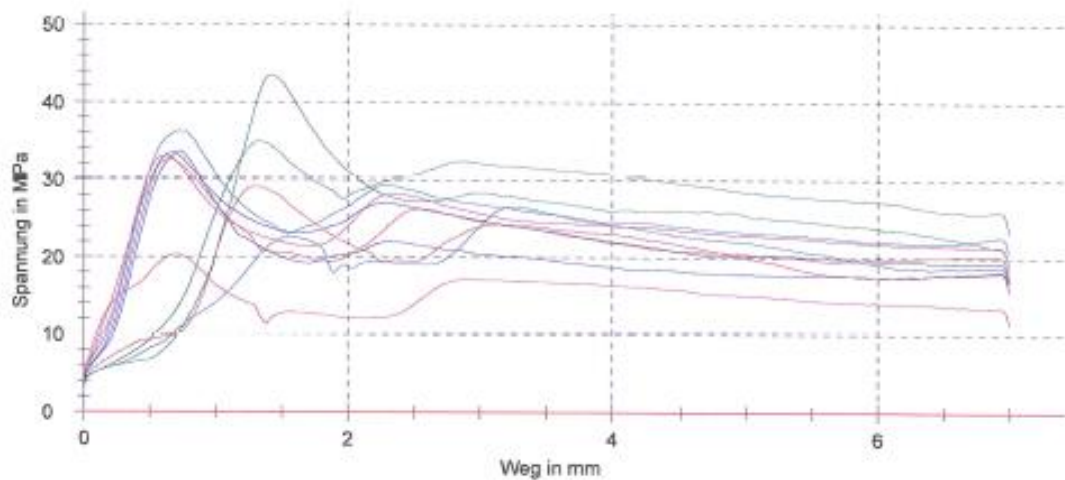
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	32,51
	2	43,45
	3	33,60
	4	36,26
	5	20,31
	6	29,08
	7	35,02
	8	33,38
	9	26,53
	10	33,02

Statistik:

Serie n = 10	F Max N
\bar{x}	32,32
s	6,13
v	18,97



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Venus Diamond
Farbe : A3
Charge : 010038

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 54°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 02.03.2011

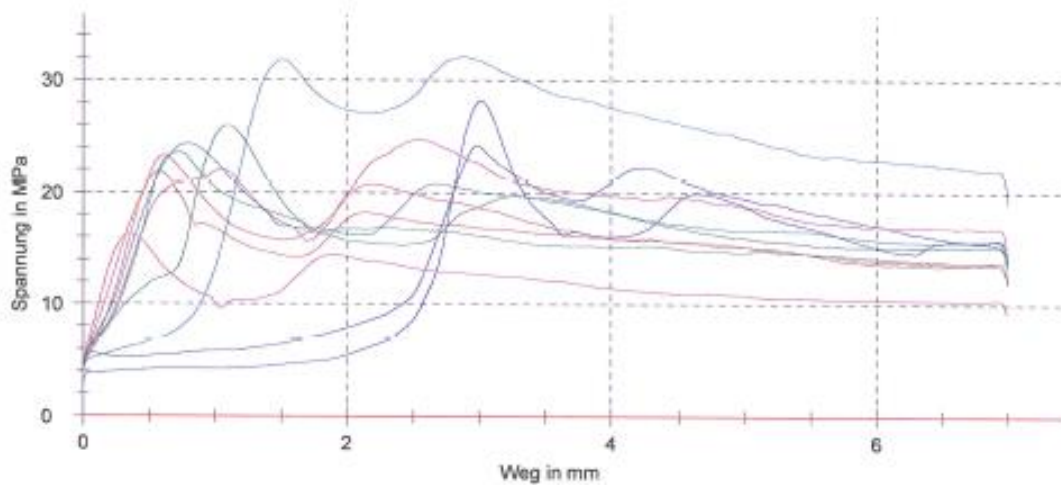
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	23,27
	2	23,56
	3	24,22
	4	32,15
	5	24,69
	6	21,85
	7	25,94
	8	28,23
	9	24,33
	10	16,21

Statistik:

Serie n = 10	F Max N
\bar{x}	24,45
s	4,12
v	16,85



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Venus Diamond
Farbe : A3
Charge : 010038

Vorkraft: 0,5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 68°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 02.03.2011

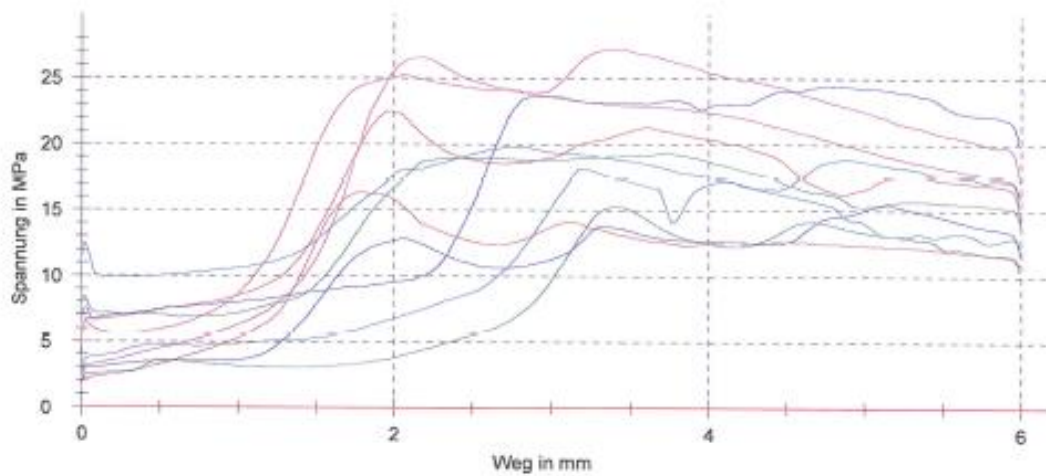
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	22,45
	2	15,29
	3	15,40
	4	18,86
	5	27,21
	6	16,32
	7	19,33
	8	24,44
	9	19,84
	10	25,24

Statistik:

Serie n = 10	F Max N
\bar{x}	20,44
s	4,24
v	20,75



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material : Tetric EvoCeram
Farbe : A3
Charge : 01992

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : RT
Prüfer :
Prüfdatum : 16.03.2011

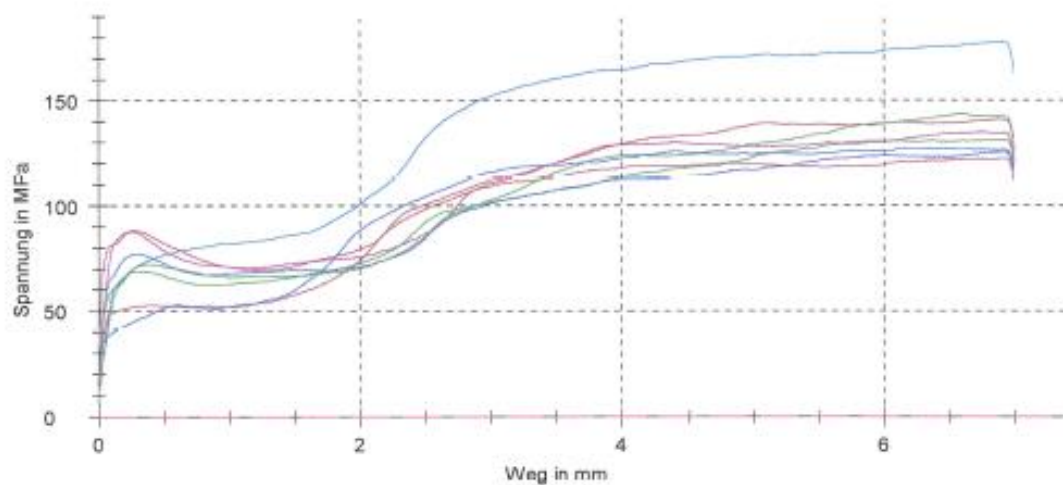
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	141,28
	2	131,68
	3	125,80
	4	178,04
	5	135,18
	6	122,68
	7	143,68
	8	127,47

Statistik:

Serie n = 8	F Max N
x	138,23
s	17,68
v	12,79



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Tetric EvoCeram
Farbe : A3
Charge : 01892

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : 40°C
Prüfer : Gerlach
Prüfdatum : 16.03.2011

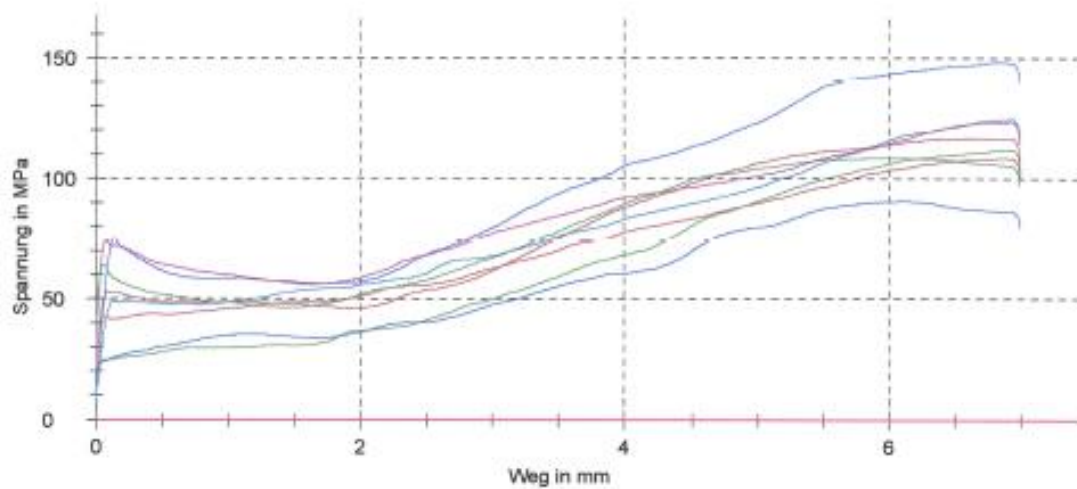
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	116,97
	2	111,99
	3	148,48
	4	124,77
	5	123,56
	6	108,64
	7	108,71
	8	90,77

Statistik:

Serie	F Max N
n = 8	
x	116,74
s	16,67
v	14,28



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Tetric EvoCeram
Farbe : A3
Charge : 01992

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : 50°C
Prüfer : Gerlach
Prüfdatum : 16.03.2011

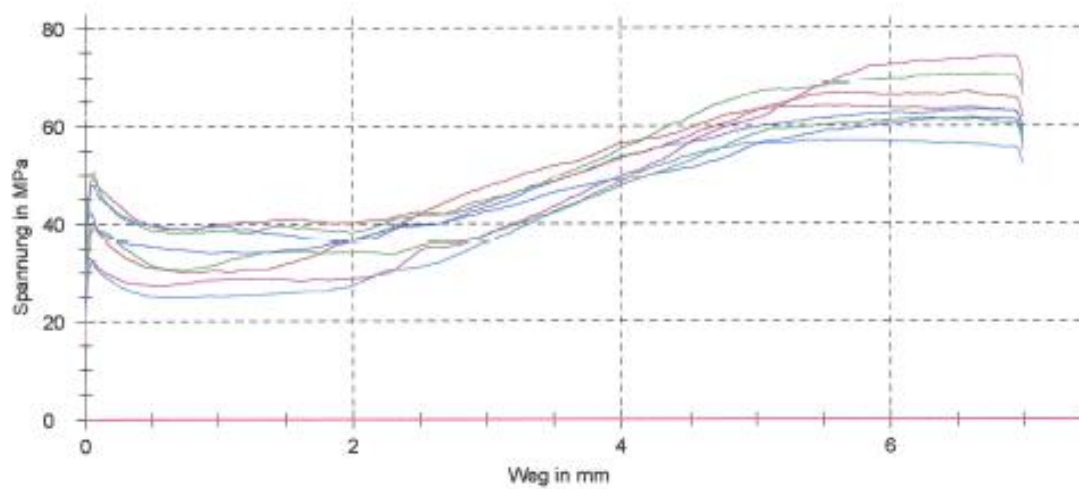
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	64,06
	2	61,69
	3	63,29
	4	57,12
	5	74,32
	6	66,94
	7	70,56
	8	61,80

Statistik:

Serie n = 8	F Max N
x	64,97
s	5,46
v	0,40



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Tetric EvoCeram
Farbe : A3
Chargc : 01992

Vorkraft: 0,5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : 68°C
Prüfer : Gerlach
Prüfdatum : 16.03.2011

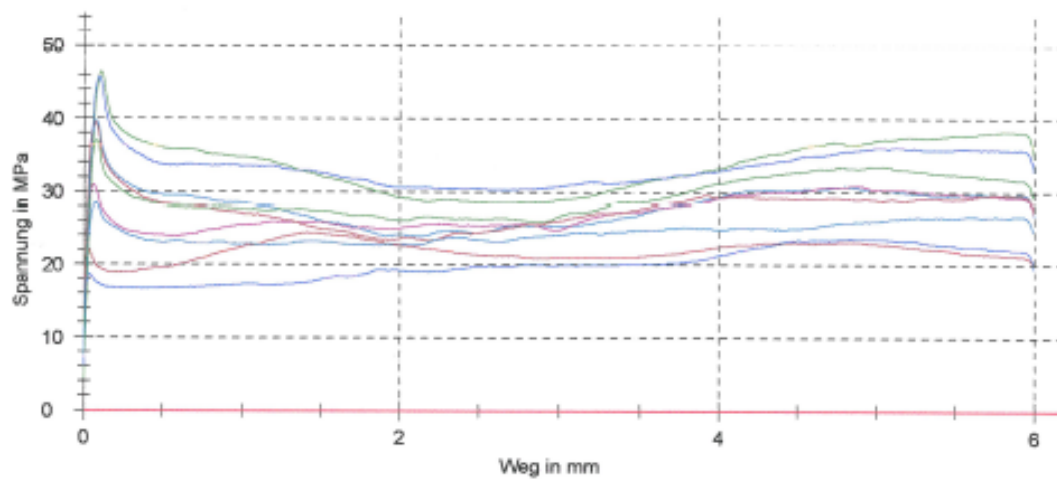
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	24,34
	2	46,40
	3	23,58
	4	39,71
	5	30,85
	6	39,52
	7	36,95
	8	45,70
	9	28,55

Statistik:

Serie n = 9	F Max N
\bar{x}	35,07
s	8,61
v	24,56



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Kalore
Farbe : A3
Charge : 1104012

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 21°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 17.01.2012

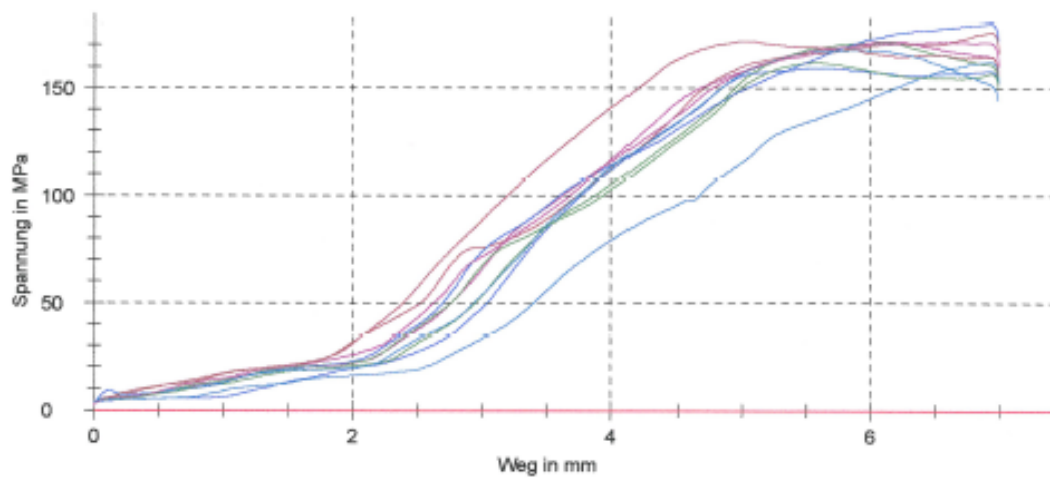
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	175,87
	2	171,42
	3	159,43
	4	162,33
	5	171,78
	6	171,99
	7	161,89
	8	180,05
	9	167,76
	10	171,44

Statistik:

Serie n = 10	F Max N
\bar{x}	169,40
s	6,53
v	3,86



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Kalore
Farbe : A3
Charge : 1104012

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 40°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 17.01.2012

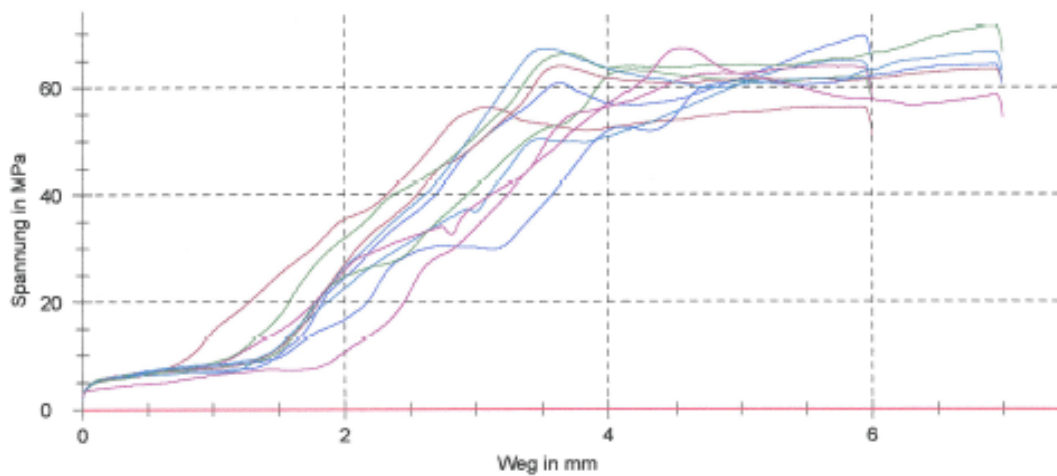
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	56,29
	2	63,07
	3	69,60
	4	64,86
	5	63,82
	6	63,94
	7	71,38
	8	64,22
	9	67,23
	10	67,24

Statistik:

Serie n = 10	F Max N
\bar{x}	65,16
s	4,14
v	6,35



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Kalore
Farbe : A3
Charge : 1104012

Vorkraft: 5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 50°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 17.01.2012

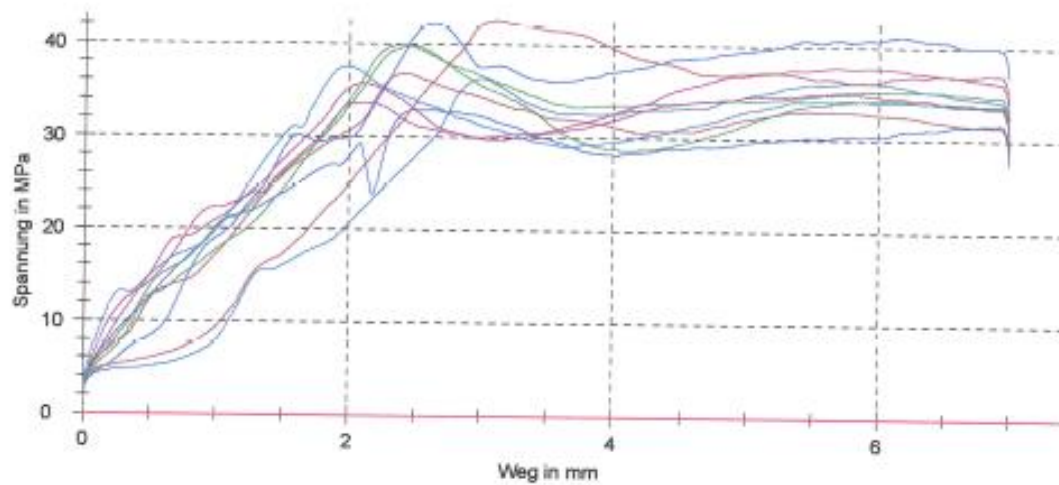
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	36,82
	2	39,67
	3	42,15
	4	36,32
	5	37,74
	6	42,53
	7	39,92
	8	32,88
	9	37,50
	10	35,70

Statistik:

Serie n = 10	F Max N
x	38,12
s	2,98
v	7,83



Parametertabelle:

Projekt : Doktorarbeit
Material: Kalore
Farbe : A3
Charge : 1104012

Vorkraft: 0,5 N

Prüfnorm : PLT_Auspresskraft
Bemerkung : Temperatur 68°C
Prüfer : Fr. Gerlach
Prüfdatum : 17.01.2012

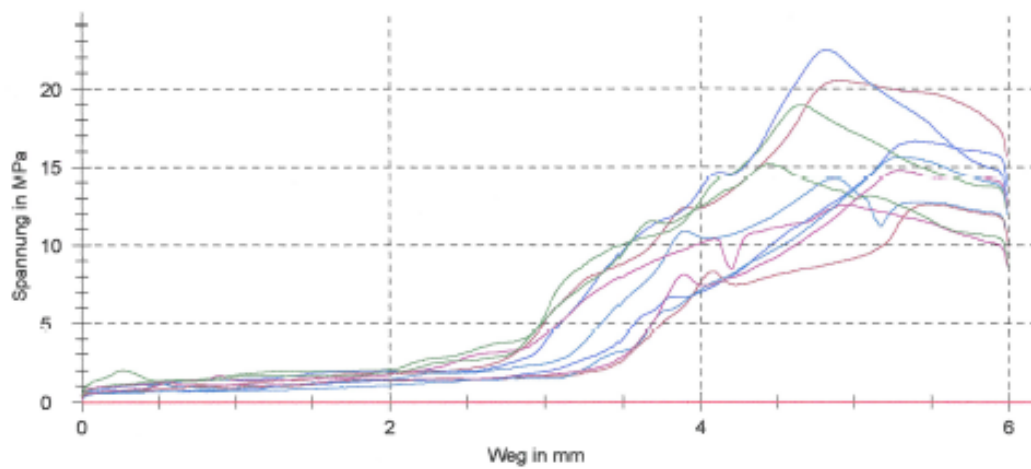
Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min

Ergebnisse:

Legende	Nr	F Max N
	1	20,48
	2	18,93
	3	22,46
	4	14,20
	5	12,53
	6	12,59
	7	15,16
	8	16,62
	9	15,59
	10	14,74

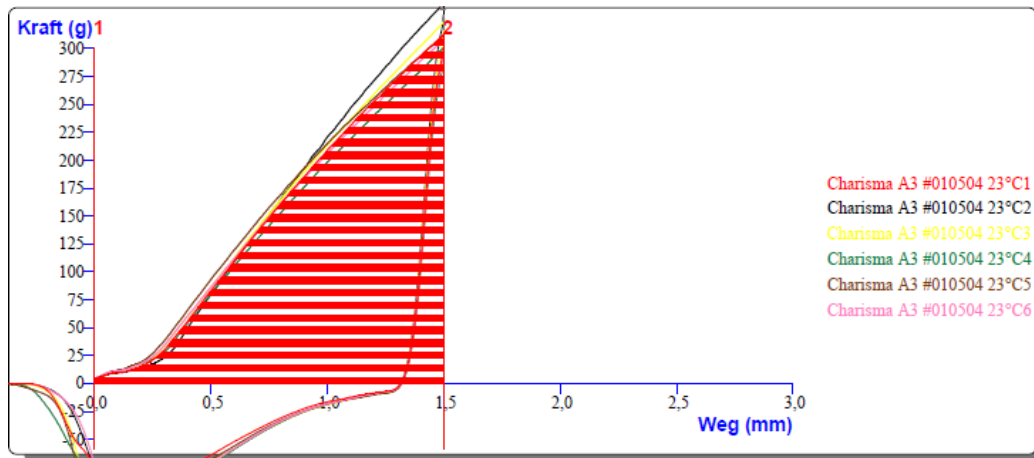
Statistik:

Serie n = 10	F Max N
\bar{x}	16,33
s	3,32
v	20,31



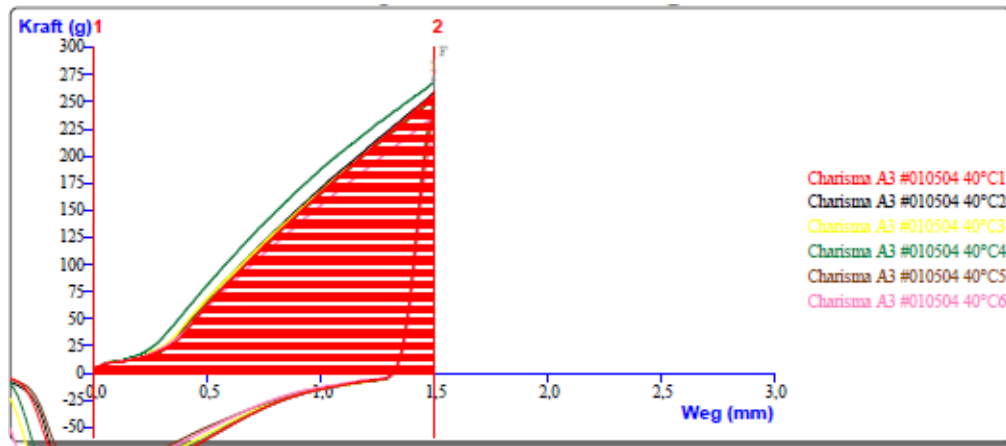
Anlage 2

Festigkeit



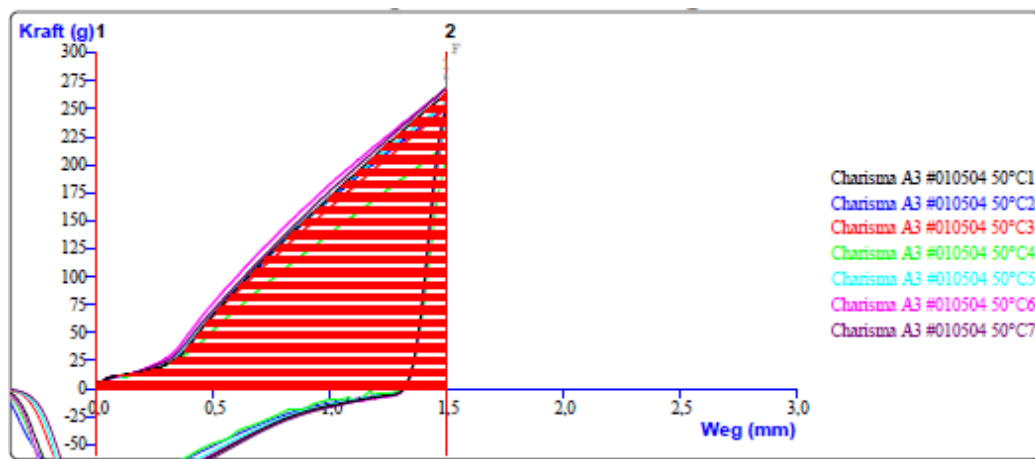
Dateiname: Charisma A3 #010504 23°C1	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 12. Oktober 2010 08:36:44
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: f15224
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Ziel Parameter: Weg	Gemessen am: Montag, 14. März 2011 10:02:44
Weg: 1,5 mm	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Vollständiger Name: K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\Festigkeit\ID oktorarbeit Fr. Gerlach\Charisma A3 #010504 23°C\Charisma A3 #010504 23°C1.ARC
Temperatur 1: 23,7°C	Relative Feuchtigkeit: 55,50%

Test ID	Charge		Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit
			g	g.mm	°C	%
			Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info!#	Info!#
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Charisma A3 #010504 23°C1	Unbekannt		312,464	219,546	23,7	55,5
Charisma A3 #010504 23°C2	Unbekannt		340,263	229,456	23,5	52,3
Charisma A3 #010504 23°C3	Unbekannt		324,131	226,085	23,5	50,5
Charisma A3 #010504 23°C4	Unbekannt		300,765	209,755	23,4	50,0
Charisma A3 #010504 23°C5	Unbekannt		311,799	227,909	23,3	50,0
Charisma A3 #010504 23°C6	Unbekannt		308,493	219,082	23,3	50,0
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH")	316,319	221,972	23,5	51,4
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	13,949	7,371	0,2	2,2
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH") /	4,410	3,321	0,6	4,3
Ende Testdaten						



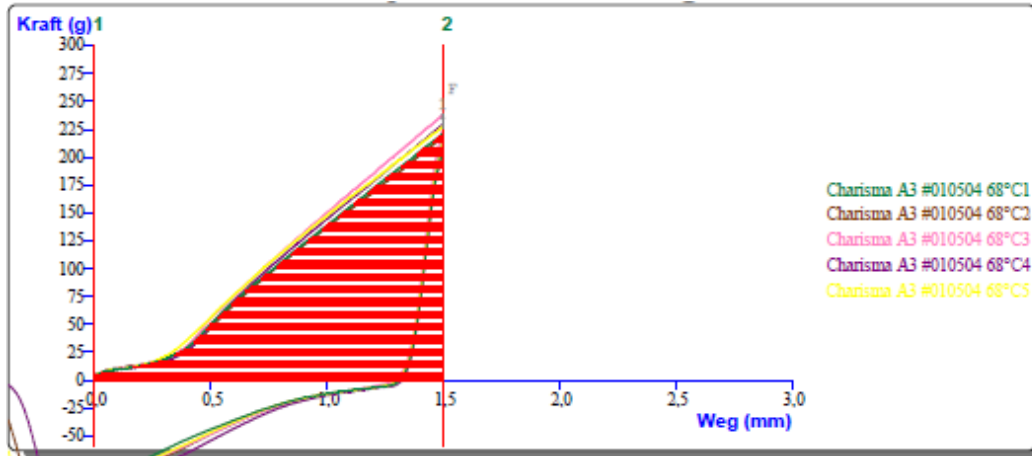
Dateiname: Charisma A3 #010504 40°C1	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 12. Oktober 2010 08:38:44
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: f15224
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Ziel Parameter: Weg	Gemessen am: Montag, 14. März 2011 10:50:37
Weg: 1,5 mm	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Vollständiger Name:
	K:\HK\G-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\FestigkeitID
	oktorarbeit Fr. Gerlach\Charisma A3 #010504 40°C1\Charisma A3
	#010504 40°C1.ARC
Temperatur 1: 23,4°C	Relative Feuchtigkeit: 54,30%

Test ID	Charge		Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit
			g	g.mm	°C	%
			Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info/H#	Info/I#
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Charisma A3 #010504 40°C1	Unbekannt		256,394	174,797	23,4	54,3
Charisma A3 #010504 40°C2	Unbekannt		258,251	179,276	23,5	53,4
Charisma A3 #010504 40°C3	Unbekannt		252,949	177,375	23,4	53,0
Charisma A3 #010504 40°C4	Unbekannt		267,804	197,890	23,3	51,9
Charisma A3 #010504 40°C6	Unbekannt		236,753	163,734	23,1	50,0
Charisma A3 #010504 40°C5	Unbekannt		252,294	173,880	23,2	50,5
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH")	254,074	177,825	23,3	52,2
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	10,157	11,209	0,1	1,7
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH") /	3,998	6,303	0,6	3,2
Ende Testdaten						



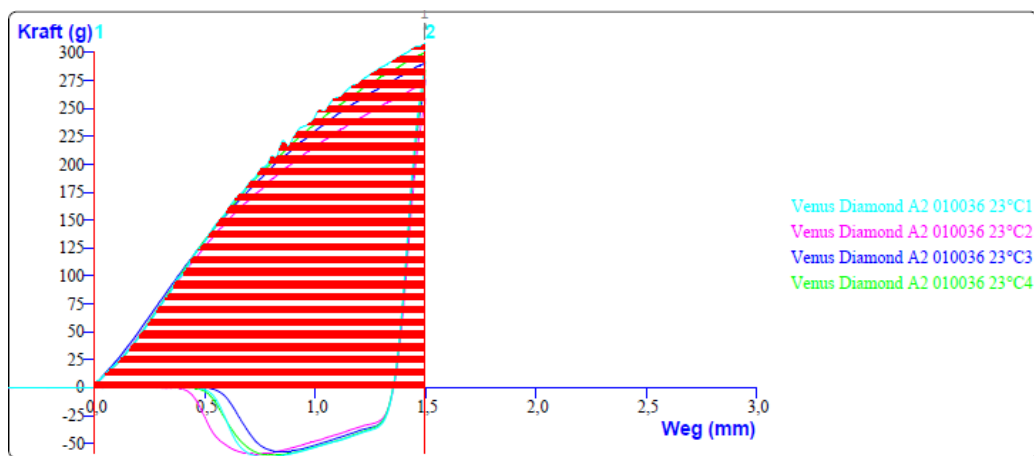
Dateiname: Charisma A3 #010504 50°C1	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 12. Oktober 2010 08:36:44
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: f15224
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Ziel Parameter: Weg	Gemessen am: Montag, 14. März 2011 12:52:49
Weg: 1,5 mm	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Vollständiger Name: K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\FestigkeitID oktorarbeit Fr. Gerlach\Charisma A3 #010504 50°C\Charisma A3 #010504 50°C1.ARC
Temperatur 1: 23,5°C	Relative Feuchtigkeit: 51,80%

Test ID	Charge		Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit
			g	g.mm	°C	%
			Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info!H#	Info!#
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Charisma A3 #010504 50°C1	Unbekannt	263,832		180,804	23,5	51,6
Charisma A3 #010504 50°C2	Unbekannt	250,609		176,989	23,5	51,1
Charisma A3 #010504 50°C3	Unbekannt	250,974		172,406	23,6	50,6
Charisma A3 #010504 50°C4	Unbekannt	217,529		147,366	23,6	50,2
Charisma A3 #010504 50°C5	Unbekannt	255,128		180,437	23,5	50,0
Charisma A3 #010504 50°C6	Unbekannt	267,535		192,464	23,6	50,0
Charisma A3 #010504 50°C7	Unbekannt	268,480		186,515	23,7	51,7
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH")	253,441	176,712	23,6	50,7
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	17,509	14,461	0,1	0,7
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	6,909	8,183	0,3	1,4
Ende Testdaten						



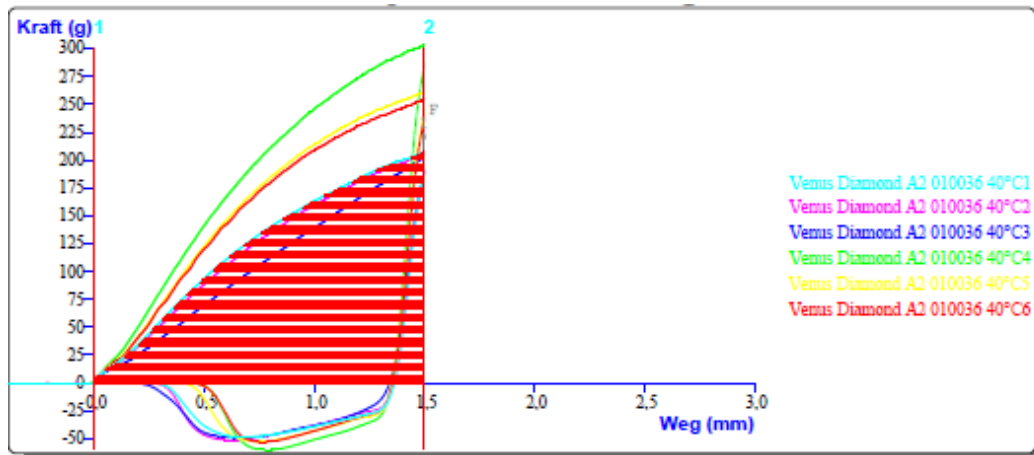
Dateiname: Charisma A3 #010504 68°C1	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 12. Oktober 2010 08:36:44
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: f15224
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen am: Montag, 14. März 2011 11:28:41
Ziel Parameter: Weg	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Weg: 1,5 mm	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Vollständiger Name:
Messpunkte pro Sekunde: 500	K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\Festigkeit\ID oktorarbeit Fr. Gerlach\Charisma A3 #010504 68°C\Charisma A3 #010504 68°C1.ARC
Temperatur 1: 23,2°C	Relative Feuchtigkeit: 50,00%

Test ID	Charge		Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit
			g	g.mm	°C	%
			Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info!H#	Info!H#
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Charisma A3 #010504 68°C1	Unbekannt		221,275	147,093	23,2	50,0
Charisma A3 #010504 68°C2	Unbekannt		219,086	144,883	23,3	50,0
Charisma A3 #010504 68°C3	Unbekannt		238,320	158,668	23,3	51,6
Charisma A3 #010504 68°C4	Unbekannt		229,497	151,588	23,5	54,2
Charisma A3 #010504 68°C5	Unbekannt		227,189	155,919	23,5	53,7
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH")	227,073	151,630	23,4	51,9
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	7,579	5,789	0,1	2,0
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	3,338	3,818	0,6	3,8
Ende Testdaten						



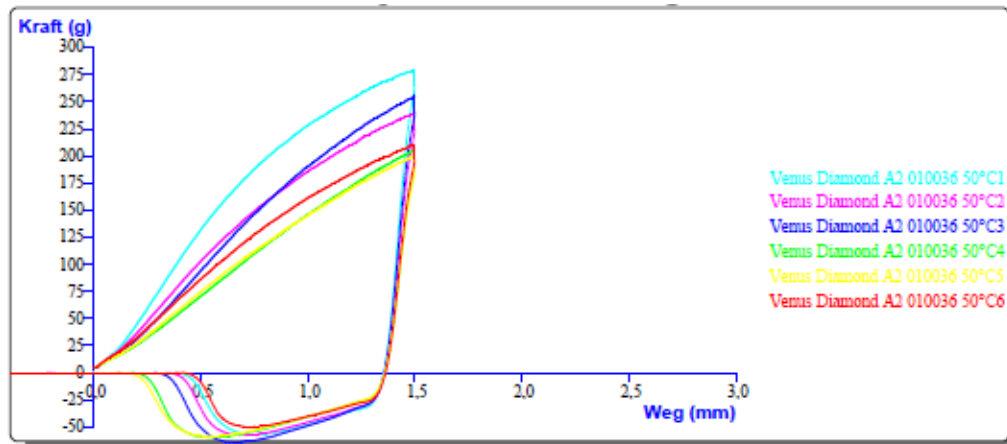
Dateiname: Venus Diamond A2 010036 23°C1	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 12. Oktober 2010 08:36:44
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: f15224
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen am: Montag, 14. März 2011 15:35:08
Ziel Parameter: Weg	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Weg: 1,5 mm	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Vollständiger Name:
Messpunkte pro Sekunde: 500	K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\Festigkeit\ID oktorarbeit Fr. Gerlach\Venus Diamond A2 010036 23°C1\Venus Diamond A2 010036 23°C1.ARC
Temperatur 1: 23,7°C	Relative Feuchtigkeit: 50,00%

Test ID	Charge		Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit
			g	g.mm	°C	%
			Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info!H#	Info!H#
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Venus Diamond A2 010036 23°C1	Unbekannt		308,171	265,427	23,7	50,0
Venus Diamond A2 010036 23°C2	Unbekannt		273,299	240,657	23,6	50,0
Venus Diamond A2 010036 23°C3	Unbekannt		290,977	255,438	23,8	50,3
Venus Diamond A2 010036 23°C4	Unbekannt		299,950	260,056	23,8	50,0
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH"	280,621	247,864	23,7	50,1
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	30,759	19,194	0,1	0,1
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH") /	10,961	7,744	0,4	0,3
Ende Testdaten						



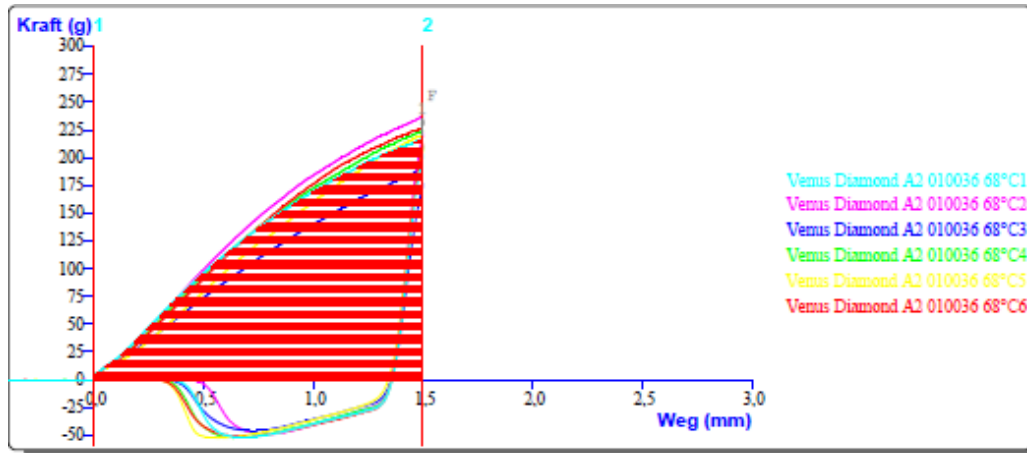
Dateiname: Venus Diamond A2 010036 40°C1	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 12. Oktober 2010 08:36:44
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: f15224
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen am: Montag, 14. März 2011 15:51:21
Ziel Parameter: Weg	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Weg: 1,5 mm	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Vollständiger Name:
Messpunkte pro Sekunde: 500	K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\FestigkeitID oktorarbeit Fr. Gerlach\Venus Diamond A2 010036 40°C\Venus Diamond A2 010036 40°C1.ARC
Temperatur 1: 23,7°C	Relative Feuchtigkeit: 50,00%

Test ID	Charge		Kraft 1 g	Fläche F-D 1:2 g.mm	Temperatur °C	Rel. Feuchtigkeit %
			Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info!H#	Info!H#
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Venus Diamond A2 010036 40°C1	Unbekannt		206,292	181,697	23,7	50,0
Venus Diamond A2 010036 40°C2	Unbekannt		205,079	176,579	23,7	50,0
Venus Diamond A2 010036 40°C3	Unbekannt		202,127	154,765	23,6	50,0
Venus Diamond A2 010036 40°C4	Unbekannt		303,416	271,181	23,6	50,0
Venus Diamond A2 010036 40°C5	Unbekannt		260,763	234,728	23,6	50,0
Venus Diamond A2 010036 40°C6	Unbekannt		254,280	228,998	23,7	50,0
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH")	237,524	209,385	23,7	50,0
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	37,617	40,294	0,1	0,0
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")/AVERAGE("BATCH")	15,837	19,244	0,2	0,0
Ende Testdaten						



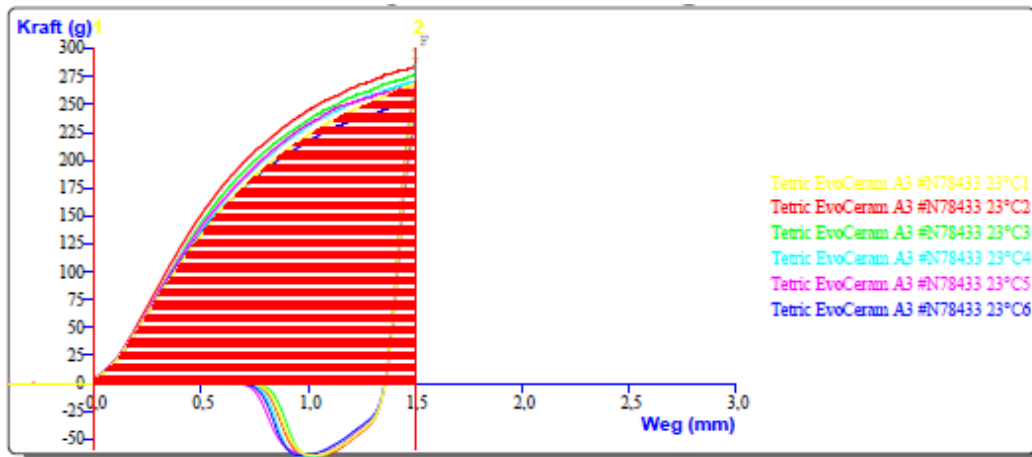
Dateiname: Venus Diamond A2 010036 50°C6	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 12. Oktober 2010 08:36:44
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: f15224
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Ziel Parameter: Weg	Gemessen am: Montag, 14. März 2011 16:46:09
Weg: 1,5 mm	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Vollständiger Name: K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\FestigkeitID oktorarbeit Fr. Gerlach\Venus Diamond A2 010036 50°CIVenus Diamond A2 010036 50°C6.ARC
Temperatur 1: 23,4°C	Relative Feuchtigkeit: 50,00%

Test ID	Charge		Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit
			g	g.mm	°C	%
			Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info!H#	Info!H#
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH"	230,710	217,745	23,7	50,0
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")				
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH") /				
Ende Testdaten						



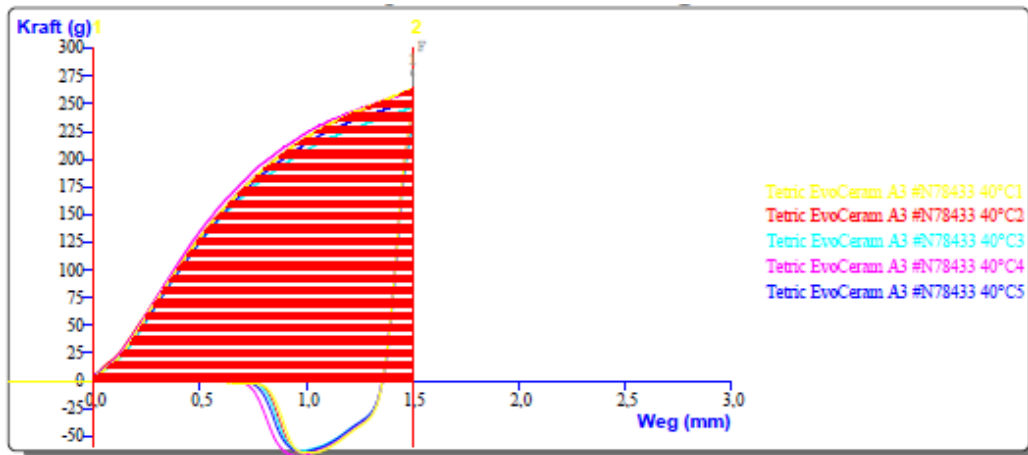
Dateiname: Venus Diamond A2 010036 68°C1	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 12. Oktober 2010 08:38:44
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: f15224
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Ziel Parameter: Weg	Gemessen am: Montag, 14. März 2011 16:07:36
Weg: 1,5 mm	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Vollständiger Name:
	K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\Festigkeit\ID oktorarbeit Fr. Gerlach\Venus Diamond A2 010036 68°C\Venus Diamond A2 010036 68°C1.ARC
Temperatur 1: 23,8°C	Relative Feuchtigkeit: 50,00%

Test ID	Charge		Kraft 1 g	Fläche F-D 1:2 g.mm	Temperatur °C	Rel. Feuchtigkeit %
			Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info!H#	Info!H#
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Venus Diamond A2 010036 68°C1	Unbekannt		216,778	188,284	23,8	50,0
Venus Diamond A2 010036 68°C2	Unbekannt		236,366	201,646	23,7	50,0
Venus Diamond A2 010036 68°C3	Unbekannt		189,344	155,121	23,7	50,0
Venus Diamond A2 010036 68°C4	Unbekannt		224,420	190,057	23,6	50,0
Venus Diamond A2 010036 68°C5	Unbekannt		220,524	175,004	23,5	50,0
Venus Diamond A2 010036 68°C6	Unbekannt		226,417	191,546	23,5	50,0
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH"	220,651	188,486	23,6	50,0
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	15,225	19,732	0,1	0,0
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	6,900	10,469	0,5	0,0
Ende Testdaten						



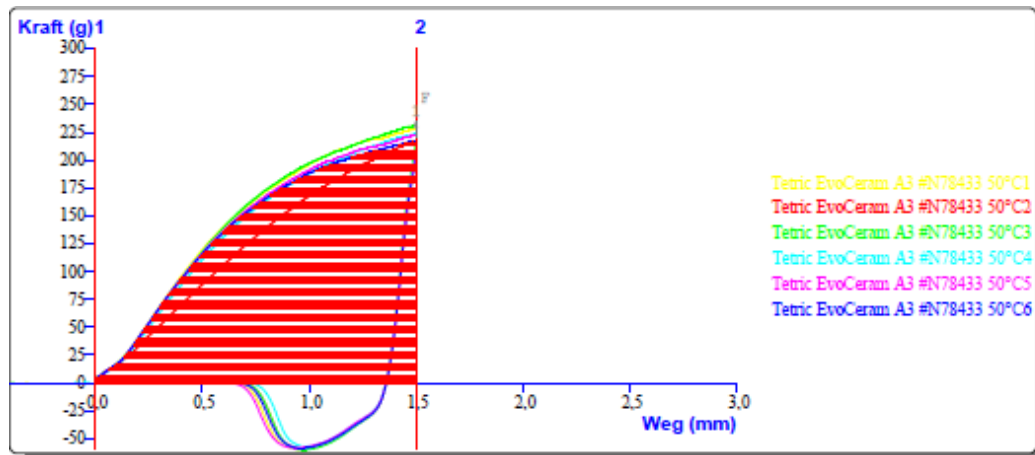
Dateiname: Tetric EvoCeram A3 #N78433 23°C1	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 12. Oktober 2010 08:36:44
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: f15224
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen am: Montag, 14. März 2011 13:42:07
Ziel Parameter: Weg	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Weg: 1,5 mm	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Vollständiger Name:
Messpunkte pro Sekunde: 500	K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\Festigkeit\ID oktorarbeit Fr. Gerlach\Tetric EvoCeram A3 #N78433 23°C\Tetric EvoCeram A3 #N78433 23°C1.ARC
Temperatur 1: 23,8°C	Relative Feuchtigkeit: 50,50%

Test ID	Charge	Kraft 1 g	Fläche F-D 1:2 g.mm	Temperatur °C	Rel. Feuchtigkeit %	
		Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info!H#	Info!H#	
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Tetric EvoCeram A3 #N78433 23°C1	Unbekannt	268,501	246,094	23,8	50,5	
Tetric EvoCeram A3 #N78433 23°C2	Unbekannt	283,732	270,444	23,8	50,1	
Tetric EvoCeram A3 #N78433 23°C3	Unbekannt	276,841	260,340	23,7	50,0	
Tetric EvoCeram A3 #N78433 23°C4	Unbekannt	271,067	252,930	23,7	50,0	
Tetric EvoCeram A3 #N78433 23°C6	Unbekannt	253,228	240,830	23,6	50,0	
Tetric EvoCeram A3 #N78433 23°C7	Unbekannt	253,228	240,830	23,6	50,0	
Tetric EvoCeram A3 #N78433 23°C5	Unbekannt	267,246	254,822	23,6	50,0	
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH")	267,692	252,327	23,7	50,1
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	11,340	10,818	0,1	0,2
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH") /	4,236	4,287	0,4	0,4
Ende Testdaten						



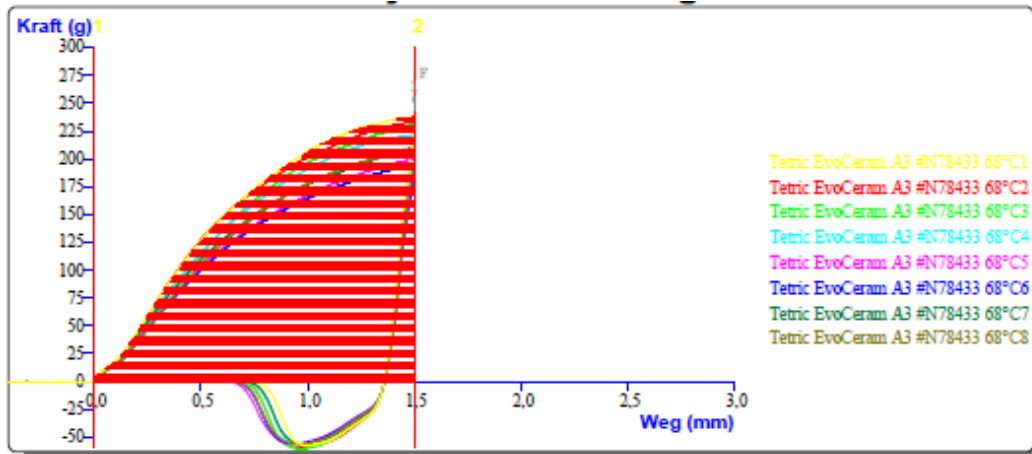
Dateiname: Tetric EvoCeram A3 #N78433 40°C1	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 12. Oktober 2010 08:36:44
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: f15224
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Ziel Parameter: Weg	Gemessen am: Montag, 14. März 2011 15:04:48
Weg: 1,5 mm	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Vollständiger Name: K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\FestigkeitID oktorarbeit Fr. Gerlach\Tetric EvoCeram A3 #N78433 40°C\Tetric EvoCeram A3 #N78433 40°C1.ARC
Temperatur 1: 23,8°C	Relative Feuchtigkeit: 50,00%

Test ID	Charge		Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit
			g	g.mm	°C	%
			Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info!H#	Info!H#
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Tetric EvoCeram A3 #N78433 40°C1	Unbekannt		262,845	240,668	23,8	50,0
Tetric EvoCeram A3 #N78433 40°C2	Unbekannt		261,375	241,791	23,8	50,0
Tetric EvoCeram A3 #N78433 40°C3	Unbekannt		245,328	228,312	23,8	50,0
Tetric EvoCeram A3 #N78433 40°C4	Unbekannt		259,679	245,517	23,8	50,0
Tetric EvoCeram A3 #N78433 40°C5	Unbekannt		253,164	234,249	23,7	50,0
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH"	252,183	234,714	23,8	50,0
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	12,356	10,309	0,1	0,0
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")/	4,900	4,392	0,2	0,0
Ende Testdaten						



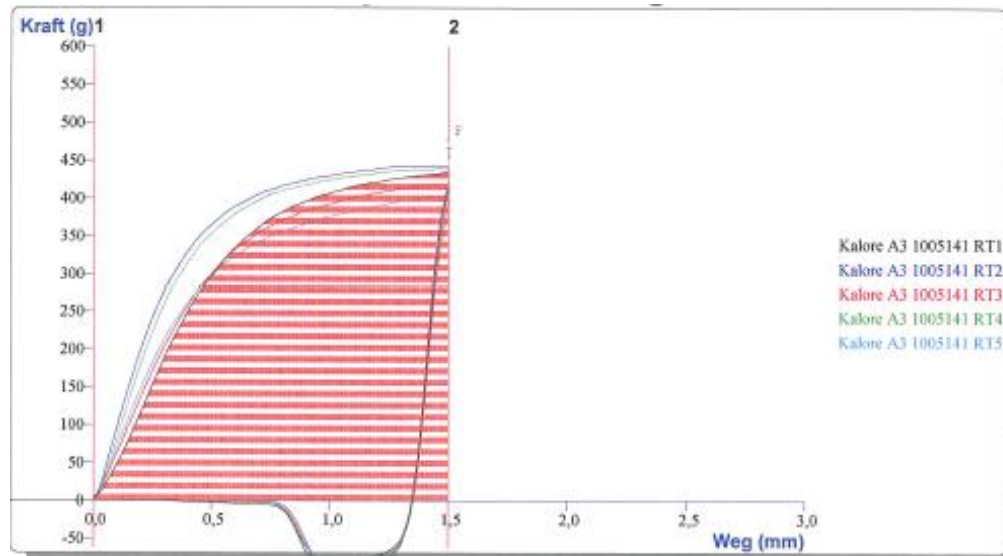
Dateiname: Tetric EvoCeram A3 #N78433 50°C6	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 12. Oktober 2010 08:36:44
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: f15224
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen am: Montag, 14. März 2011 14:31:35
Ziel Parameter: Weg	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Weg: 1,5 mm	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Vollständiger Name:
Messpunkte pro Sekunde: 500	K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\FestigkeitID oktorarbeit Fr. Gerlach\Tetric EvoCeram A3 #N78433 50°C\Tetric EvoCeram A3 #N78433 50°C6.ARC
Temperatur 1: 23,7°C	Relative Feuchtigkeit: 50,00%

Test ID	Charge		Kraft 1 g	Fläche F-D 1:2 g.mm	Temperatur °C	Rel. Feuchtigkeit %
			Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info!H#	Info!H#
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Tetric EvoCeram A3 #N78433 50°C1	Unbekannt		227,930	215,844	23,8	50,0
Tetric EvoCeram A3 #N78433 50°C2	Unbekannt		216,596	183,429	23,7	50,0
Tetric EvoCeram A3 #N78433 50°C3	Unbekannt		231,139	216,081	23,7	50,0
Tetric EvoCeram A3 #N78433 50°C4	Unbekannt		223,894	206,477	23,7	50,0
Tetric EvoCeram A3 #N78433 50°C5	Unbekannt		222,338	210,255	23,7	50,0
Tetric EvoCeram A3 #N78433 50°C6	Unbekannt		216,649	207,560	23,7	50,0
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH"	223,091	206,608	23,7	50,0
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	5,884	12,054	0,0	0,0
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	2,637	5,834	0,2	0,0
Ende Testdaten						



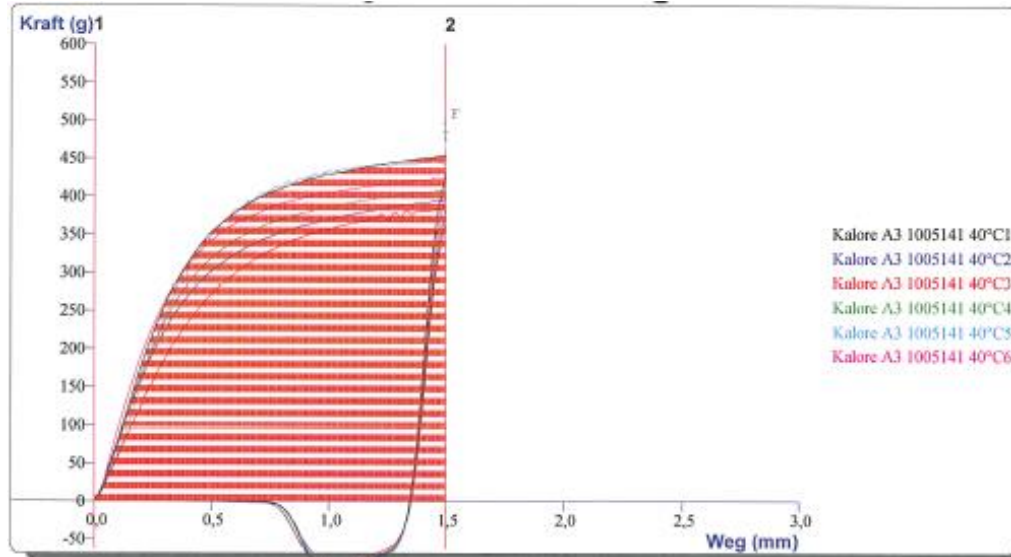
Dateiname: Tetric EvoCeram A3 #N78433 68°C1	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 12. Oktober 2010 08:36:44
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: f15224
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Ziel Parameter: Weg	Gemessen am: Montag, 14. März 2011 14:01:48
Weg: 1,5 mm	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Vollständiger Name: K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\FestigkeitID oktorarbeit Fr. Gerlach\Tetric EvoCeram A3 #N78433 68°C\Tetric EvoCeram A3 #N78433 68°C1.ARC
Temperatur 1: 23,7°C	Relative Feuchtigkeit: 50,00%

Test ID	Charge	Kraft 1 g	Fläche F-D 1:2 g.mm	Temperatur °C	Rel. Feuchtigkeit %	
		Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info!H#	Info!H#	
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Tetric EvoCeram A3 #N78433 68°C1	Unbekannt	238,545	227,635	23,7	50,0	
Tetric EvoCeram A3 #N78433 68°C2	Unbekannt	233,307	223,799	23,8	51,9	
Tetric EvoCeram A3 #N78433 68°C3	Unbekannt	231,397	214,073	23,9	52,6	
Tetric EvoCeram A3 #N78433 68°C4	Unbekannt	222,531	211,021	23,7	50,3	
Tetric EvoCeram A3 #N78433 68°C5	Unbekannt	199,863	186,509	23,6	51,3	
Tetric EvoCeram A3 #N78433 68°C6	Unbekannt	195,043	182,204	23,7	51,0	
Tetric EvoCeram A3 #N78433 68°C7	Unbekannt	210,725	197,477	23,8	50,0	
Tetric EvoCeram A3 #N78433 68°C8	Unbekannt	209,834	194,502	23,7	50,0	
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH")	217,656	204,652	23,7	50,9
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	16,173	16,953	0,1	1,0
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH") /	7,431	8,284	0,4	1,9
Ende Testdaten						



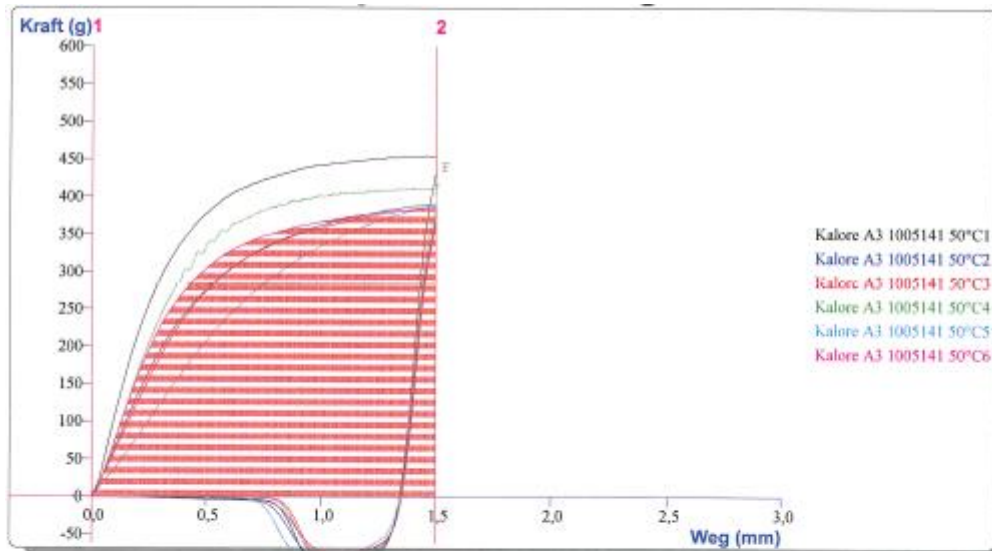
Dateiname: Kalore A3 1005141 RT1	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 18. Oktober 2011 12:01:54
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: Admin
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Ziel Parameter: Weg	Gemessen am: Montag, 23. Januar 2012 09:04:56
Weg: 1,5 mm	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Vollständiger Name: K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\Festigkeit\ID oktorarbeit Fr. Gerlach\Kalore A3 1005141 RT\Kalore A3 1005141 RT1.ARC

Test ID	Charge		Kraft 1 g	Fläche F-D 1:2 g.mm	Temperatur °C	Rel. Feuchtigkeit %
			Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info\H#	Info\I#
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Kalore A3 1005141 RT1	Unbekannt		434,464	469,070	23,0	50,0
Kalore A3 1005141 RT2	Unbekannt		442,741	530,791	23,0	50,4
Kalore A3 1005141 RT3	Unbekannt		419,090	464,152	23,0	50,0
Kalore A3 1005141 RT4	Unbekannt		438,683	516,873	23,1	58,9
Kalore A3 1005141 RT5	Unbekannt		404,823	452,098	23,1	63,0
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH")	427,960	486,597	23,0	54,5
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	15,730	34,896	0,1	6,1
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH") / AVERAGE("BATCH")	3,676	7,171	0,2	11,2
Ende Testdaten						



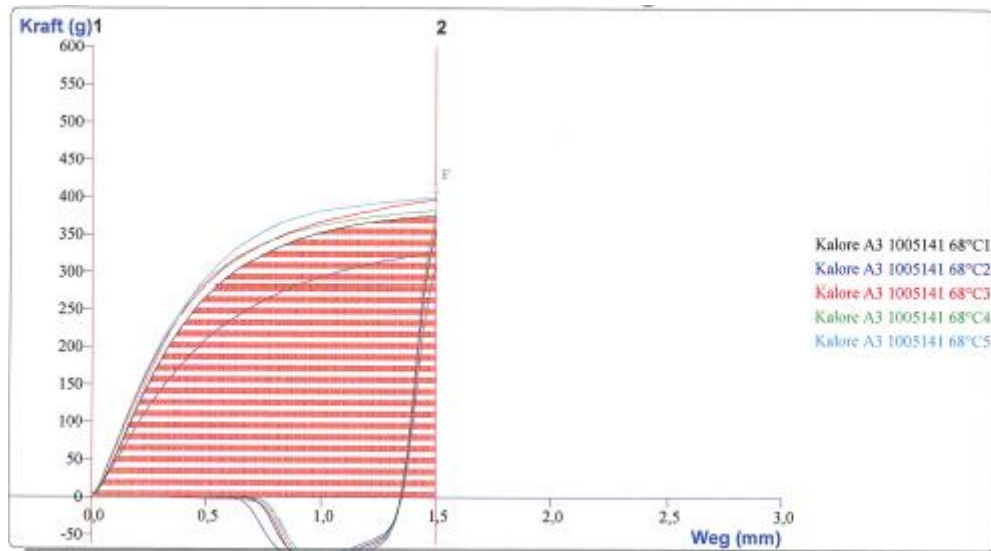
Dateiname: Kalore A3 1005141 40°C1	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 18. Oktober 2011 12:01:54
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: Admin
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Ziel Parameter: Weg	Gemessen am: Montag, 23. Januar 2012 09:20:22
Weg: 1,5 mm	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Werkzeug: P12 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Vollständiger Name: K:\VHKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\FestigkeitID oktorarbeit Fr. Gerlach\Kalore A3 1005141 40°C\Kalore A3 1005141 40°C1.ARC

Test ID	Charge		Kraft 1 g	Fläche F-D 1:2 g.mm	Temperatur °C	Rel. Feuchtigkeit %
			Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info/H#	Info/I#
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Kalore A3 1005141 40°C1	Unbekannt		454,057	519,804	23,2	58,1
Kalore A3 1005141 40°C2	Unbekannt		395,397	450,881	23,2	52,6
Kalore A3 1005141 40°C3	Unbekannt		384,027	420,634	23,0	50,0
Kalore A3 1005141 40°C4	Unbekannt		407,753	470,401	23,0	50,0
Kalore A3 1005141 40°C5	Unbekannt		444,094	514,070	23,1	56,0
Kalore A3 1005141 40°C6	Unbekannt		423,878	499,177	23,1	53,1
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH")	418,201	479,161	23,1	53,3
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	27,515	38,918	0,1	3,2
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH") / AVERAGE("BATCH")	6,579	8,122	0,4	6,1
Ende Testdaten						



Dateiname: Kalore A3 1005141 50°C6	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 18. Oktober 2011 12:01:54
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: Admin
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: HK222
Ziel Parameter: Weg	Gemessen am: Montag, 23. Januar 2012 10:50:59
Weg: 1,5 mm	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslöswert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Vollständiger Name: K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\Festigkeit\IDoktorarbeit Fr. Gerlach\Kalore A3 1005141 50°C\Kalore A3 1005141 50°C6.ARC

Test ID	Charge		Kraft 1 g	Fläche F-D 1:2 g.mm	Temperatur °C	Rel. Feuchtigkeit %
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt		Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info/H#	Info/I#
Kalore A3 1005141 50°C1	Unbekannt		454,486	547,688	23,2	52,5
Kalore A3 1005141 50°C2	Unbekannt		390,963	429,434	23,0	50,0
Kalore A3 1005141 50°C3	Unbekannt		387,731	424,609	23,0	50,0
Kalore A3 1005141 50°C4	Unbekannt		410,588	484,919	23,2	55,7
Kalore A3 1005141 50°C5	Unbekannt		388,225	372,525	23,2	54,3
Kalore A3 1005141 50°C6	Unbekannt		384,285	448,344	23,1	50,0
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH")	402,713	451,253	23,1	52,1
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	27,035	59,709	0,1	2,5
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH") / AVERAGE("E	6,713	13,232	0,4	4,8
Ende Testdaten						



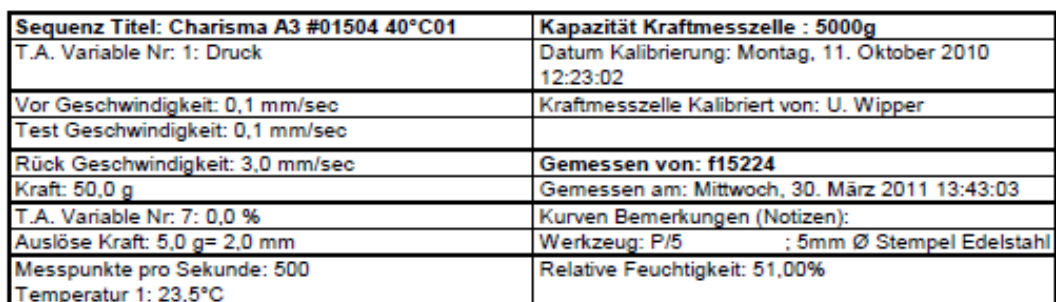
Dateiname: Kalore A3 1005141 68°C1	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
Test Art: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 18. Oktober 2011 12:01:54
Vor Geschwindigkeit: 0,5 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: Admin
Test Geschwindigkeit: 1,0 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Ziel Parameter: Weg	Gemessen am: Montag, 23. Januar 2012 10:14:46
Weg: 1,5 mm	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslösewert: Auto (Kraft) = 5,0 g	Werkzeug: P/2 ; 2mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Vollständiger Name: K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\Festigkeit\Disktorarbeit Fr. Gerlach\Kalore A3 1005141 68°C\Kalore A3 1005141 68°C1.ARC

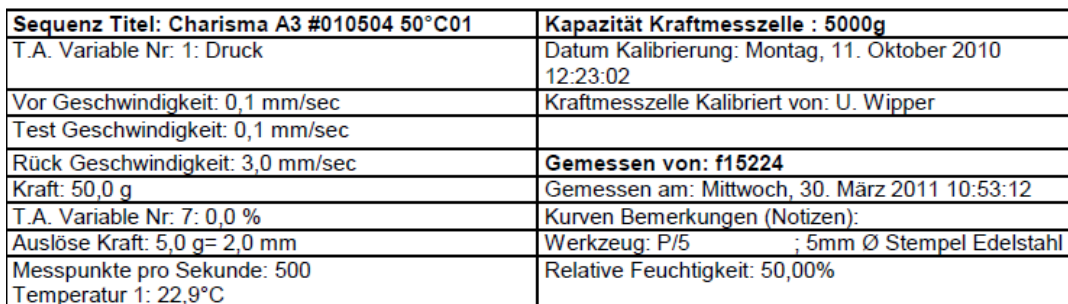
Test ID	Charge		Kraft 1 g	Fläche F-D 1:2 g.mm	Temperatur °C	Rel. Feuchtigkeit %
Start Charge: Unbekannt	Unbekannt		Kraft 1	Fläche F-D 1:2	Info!H#	Info!#
Kalore A3 1005141 68°C1	Unbekannt		374,966	413,612	23,1	50,4
Kalore A3 1005141 68°C2	Unbekannt		327,085	341,486	23,0	50,0
Kalore A3 1005141 68°C3	Unbekannt		397,608	436,820	22,9	50,0
Kalore A3 1005141 68°C4	Unbekannt		382,782	433,667	23,1	57,1
Kalore A3 1005141 68°C5	Unbekannt		399,669	445,767	23,2	55,1
Ende Charge: Unbekannt	Unbekannt					
Mittelwert:	Unbekannt (F)	AVERAGE("BATCH")	376,422	414,270	23,1	52,5
Standardabweichung	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH")	29,436	42,352	0,1	3,3
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	STDEV("BATCH") / AVERAGE("BATCH")	7,820	10,223	0,5	6,4
Ende Testdaten						

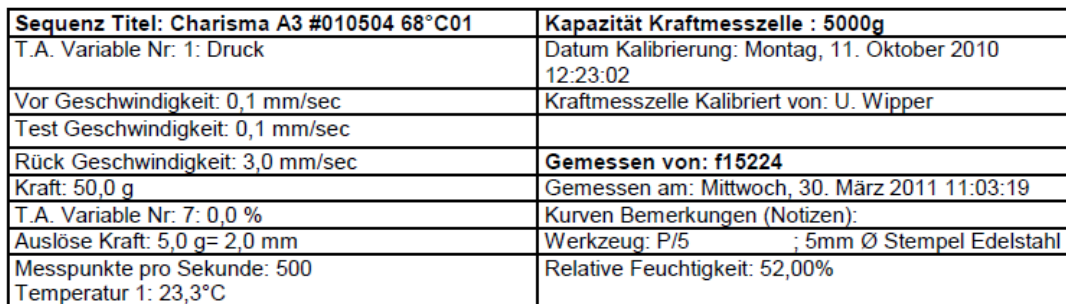
Initialklebrigkeit

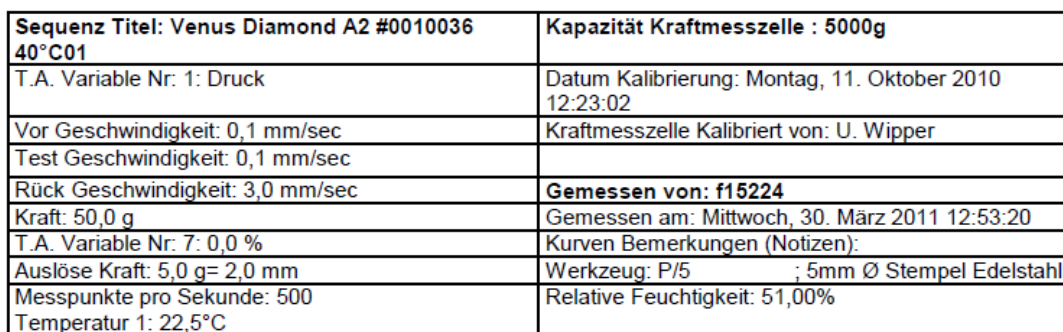


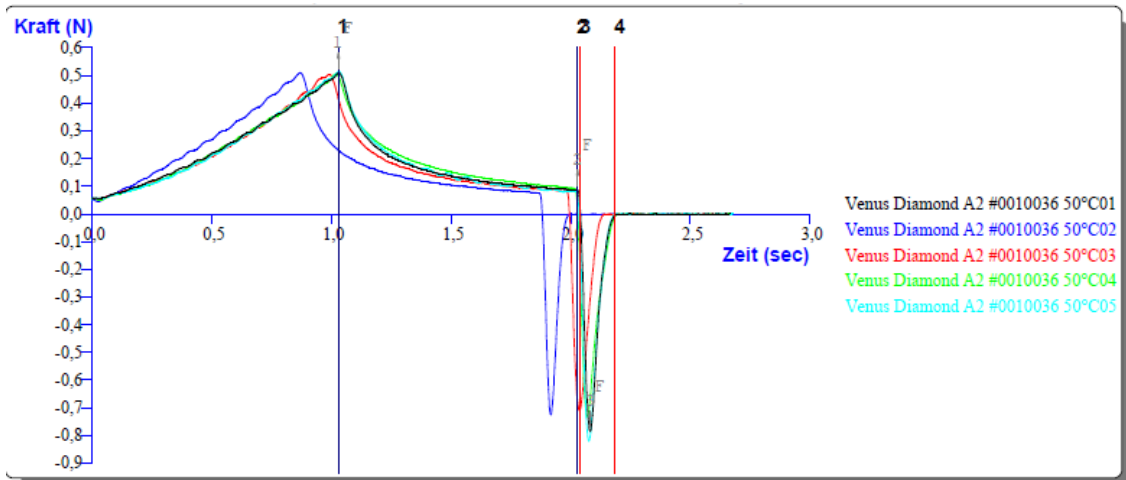
Test ID	Charge	Weg 1 mm	Kraft 1 g	Kraft 2 g	Kraftabfall N	Klebkraft g	Klebearbeit g/mm	Fadenlänge mm	Temperatur °C	Rel. Feuchtigkeit %
		Weg 1	Kraft 1	Kraft 2	Kraftabfall	Kraft 3	Fläche I-Ü 3:4	Weg Differenz 3:4	Info#	Info#
Start Charge Unbekannt	Unbekannt									
Charge AS #010504 RT001	Unbekannt	-0.186	91.248	2.993	0.473	-183.564	-31.448	0.490	23.0	50.0
Charge AS #010504 RT002	Unbekannt	-0.192	91.512	2.837	0.460	-212.535	-126.860	1.380	22.9	51.0
Charge AS #010504 RT003	Unbekannt	-0.193	91.048	2.581	0.479	-189.060	-106.906	1.374	23.3	50.0
Charge AS #010504 RT004	Unbekannt	-0.146	91.000	3.182	0.469	-203.067	-128.999	1.272	23.0	51.0
Charge AS #010504 RT005	Unbekannt	-0.142	90.934	2.704	0.472	-201.832	-117.670	1.374	23.1	51.0
Charge AS #010504 RT006	Unbekannt	-0.197	91.148	2.750	0.478	-197.249	-119.600	1.344	23.4	50.0
Ende Charge Unbekannt	Unbekannt									
Mittelwert:	Unbekannt (F)	-0.193	91.147	2.793	0.474	-197.838	-104.934	1.199	23.1	50.5
Standardabweichung:	Unbekannt (F)	0.008	0.210	0.249	0.004	10.375	36.76	0.369	0.2	0.5
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	-5.522	0.411	8.930	0.790	-5.244	-35.032	30.789	0.8	1.1

[illegible]

[illegible]

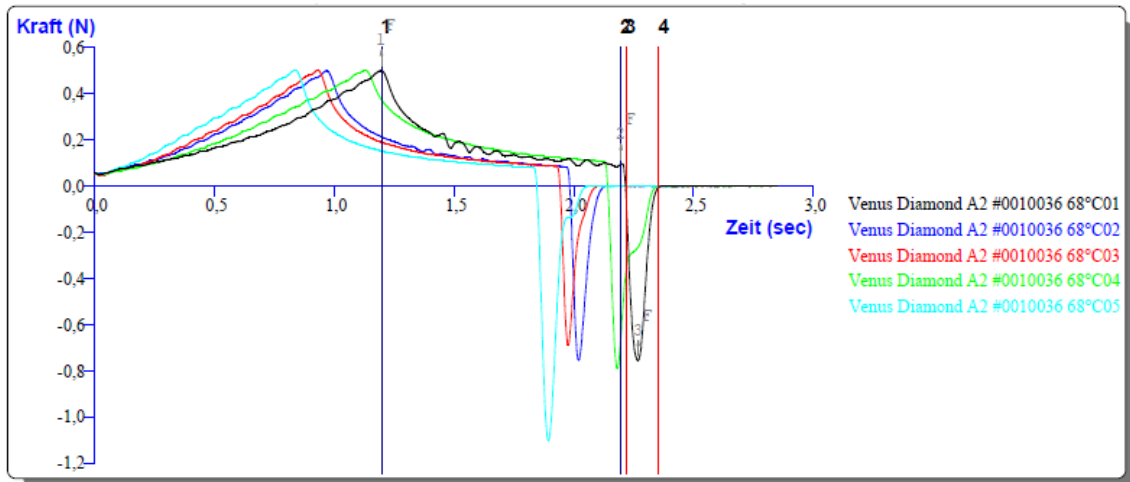
[illegible]

[illegible]



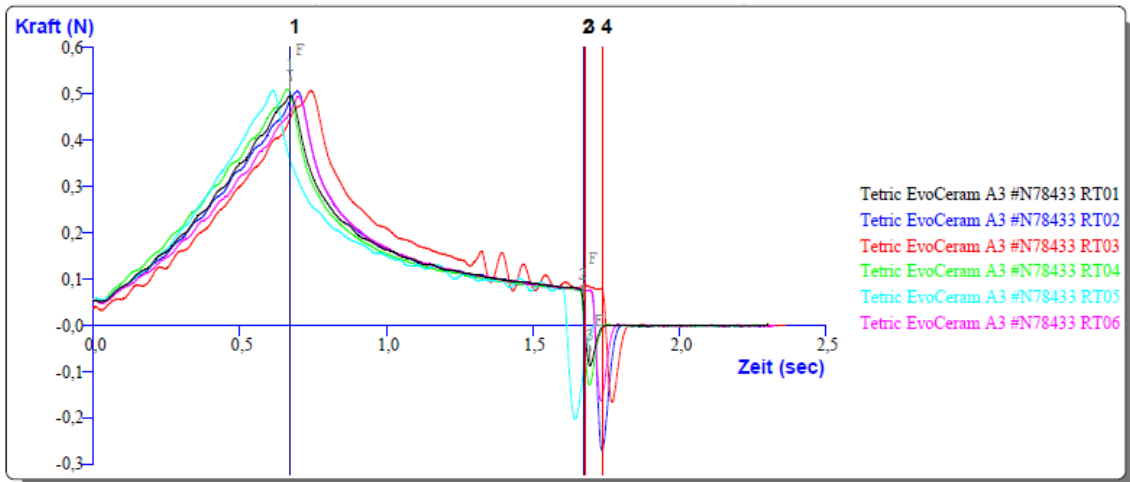
Sequenz Titel: Venus Diamond A2 #0010036 50°C01	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
T.A. Variable Nr: 1: Druck	Datum Kalibrierung: Montag, 11. Oktober 2010 12:23:02
Vor Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: U. Wipper
Test Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Kraft: 50,0 g	Gemessen am: Mittwoch, 30. März 2011 11:26:05
T.A. Variable Nr: 7: 0,0 %	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslöse Kraft: 5,0 g= 2,0 mm	Werkzeug: P/5 ; 5mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Relative Feuchtigkeit: 50,00%
Temperatur 1: 23,8°C	

[illegible]



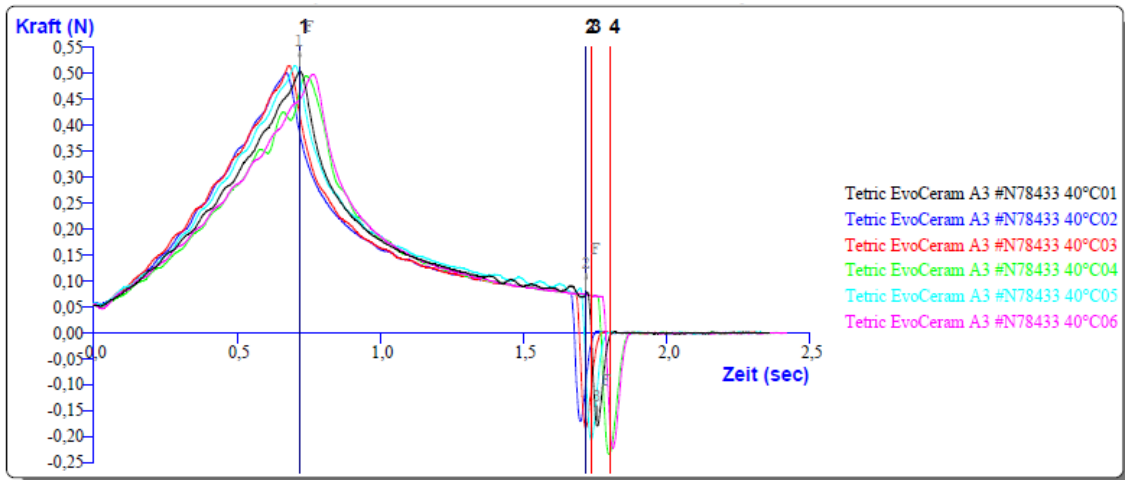
Sequenz Titel: Venus Diamond A2 #0010036 68°C01	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
T.A. Variable Nr: 1: Druck	Datum Kalibrierung: Montag, 11. Oktober 2010 12:23:02
Vor Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: U. Wipper
Test Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Kraft: 50,0 g	Gemessen am: Mittwoch, 30. März 2011 13:09:19
T.A. Variable Nr: 7: 0,0 %	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslöse Kraft: 5,0 g= 2,0 mm	Werkzeug: P/5 ; 5mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Relative Feuchtigkeit: 51,00%
Temperatur 1: 22,6°C	

[illegible]



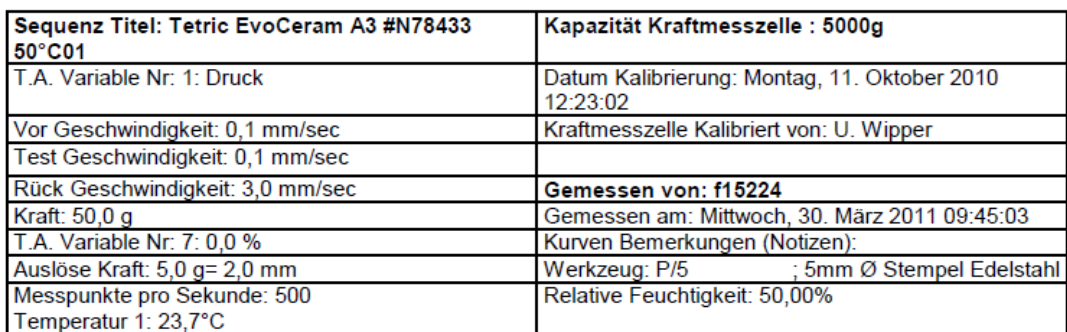
Sequenz Titel: Tetric EvoCeram A3 #N78433 RT01	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
T.A. Variable Nr: 1: Druck	Datum Kalibrierung: Montag, 11. Oktober 2010 12:23:02
Vor Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: U. Wipper
Test Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Kraft: 50,0 g	Gemessen am: Mittwoch, 30. März 2011 08:16:40
T.A. Variable Nr: 7: 0,0 %	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslöse Kraft: 5,0 g= 2,0 mm	Werkzeug: P/5 ; 5mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Relative Feuchtigkeit: 52,00%
Temperatur 1: 22,9°C	

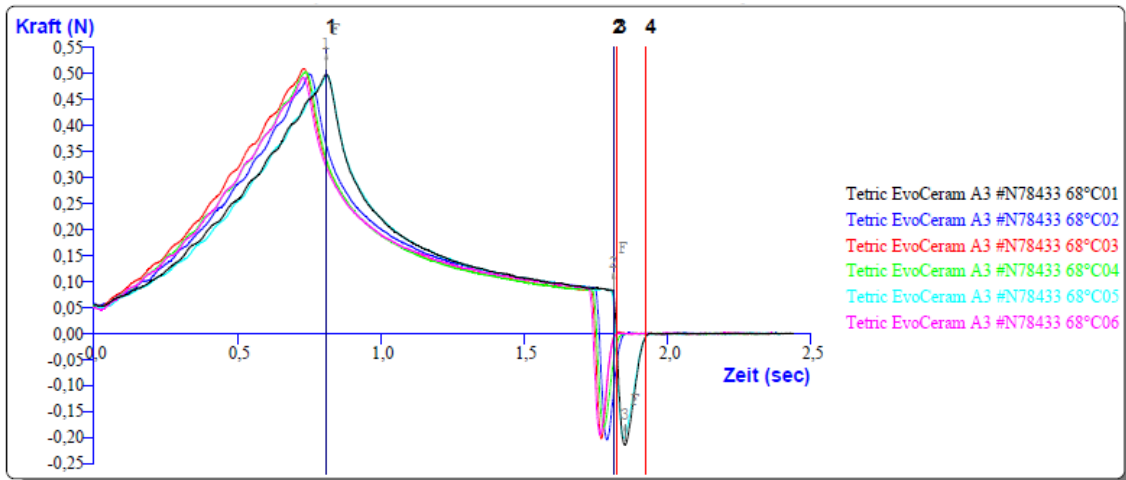
Test ID	Charge	Weg 1 mm	Kraft 1 g	Kraft 2 g	Kraftabfall N Kraftabfall	Klebkraft g Kraftabfall	Klebearbeit g Fläche F-D 3:4	Fadenlänge mm Weg Differenz 3:4	Temperatur °C Info#	Rel. Feuchtigkeit % Info#
Start Charge: Unbekannt		Unbekannt								
Tetric EvoCeram A3 #N78433 RT01	Unbekannt	-0,065	50,733	4,762	0,451	-8,934	-0,825	0,174	22,9	52,0
Tetric EvoCeram A3 #N78433 RT02	Unbekannt	-0,068	51,679	7,643	0,432	-27,625	-3,278	0,246	23,0	51,0
Tetric EvoCeram A3 #N78433 RT03	Unbekannt	-0,072	51,835	6,397	0,446	-16,967	-1,847	0,210	23,0	50,0
Tetric EvoCeram A3 #N78433 RT04	Unbekannt	-0,064	52,158	8,055	0,432	-13,106	-1,286	0,186	23,1	51,0
Tetric EvoCeram A3 #N78433 RT05	Unbekannt	-0,059	51,724	3,961	0,468	-20,594	-2,876	0,264	23,1	50,0
Tetric EvoCeram A3 #N78433 RT06	Unbekannt	-0,068	50,533	7,543	0,422	-16,577	-1,694	0,198	23,2	50,0
Ende Charge: Unbekannt		Unbekannt								
Mittelwert:	Unbekannt (F)	-0,066	51,444	6,394	0,442	-17,301	-1,968	0,213	23,1	50,7
Standardabweichung	Unbekannt (F)	0,004	0,653	1,687	0,017	6,414	0,938	0,035	0,1	0,8
Variationskoeffizient	Unbekannt (F)	-6,708	1,269	26,392	3,794	-37,072	-47,679	16,498	0,5	1,6
End Testdaten										



Sequenz Titel: Tetric EvoCeram A3 #N78433 40°C01	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
T.A. Variable Nr: 1: Druck	Datum Kalibrierung: Montag, 11. Oktober 2010 12:23:02
Vor Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: U. Wipper
Test Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Kraft: 50,0 g	Gemessen am: Mittwoch, 30. März 2011 08:59:41
T.A. Variable Nr: 7: 0,0 %	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslöse Kraft: 5,0 g= 2,0 mm	Werkzeug: P/5 ; 5mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Relative Feuchtigkeit: 50,00%
Temperatur 1: 23,3°C	

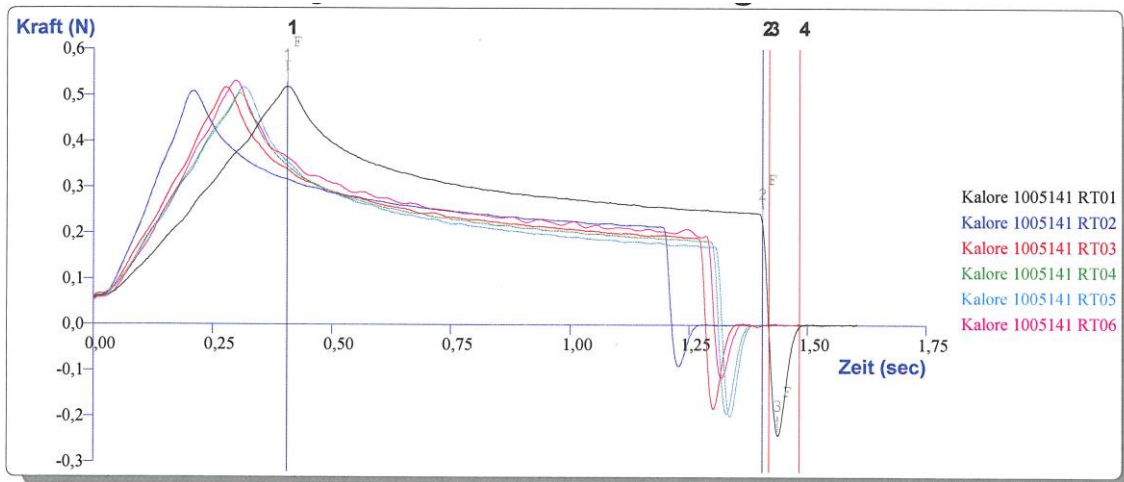
[illegible]

[illegible]



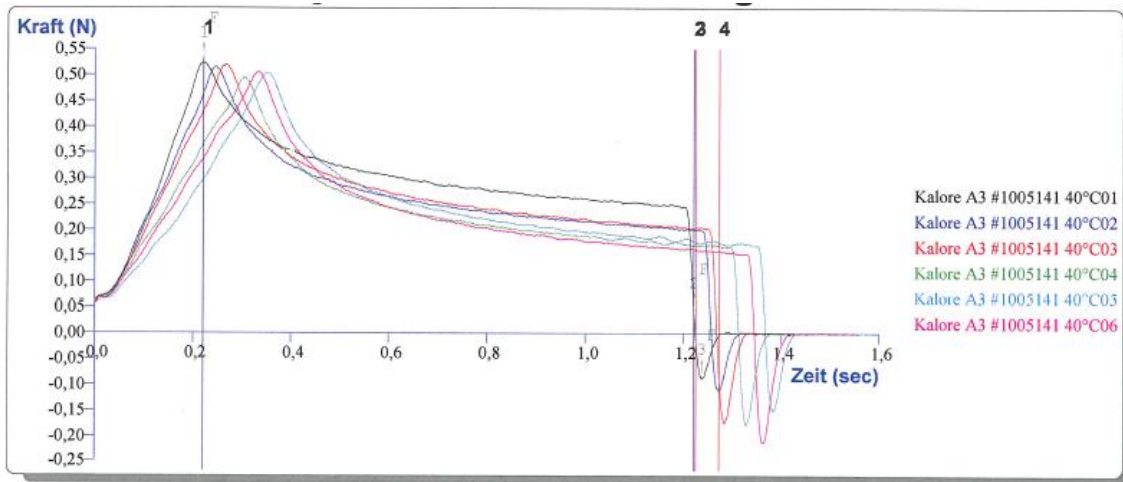
Sequenz Titel: Tetric EvoCeram A3 #N78433 68°C01	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
T.A. Variable Nr: 1: Druck	Datum Kalibrierung: Montag, 11. Oktober 2010 12:23:02
Vor Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: U. Wipper
Test Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Kraft: 50,0 g	Gemessen am: Mittwoch, 30. März 2011 09:36:11
T.A. Variable Nr: 7: 0,0 %	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslöse Kraft: 5,0 g= 2,0 mm	Werkzeug: P/5 ; 5mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Relative Feuchtigkeit: 50,00%
Temperatur 1: 23,5°C	

[illegible]



Sequenz Titel: Kalore 1005141 RT01	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
T.A. Variable Nr: 1: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 18. Oktober 2011 12:01:54
Vor Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: Admin
Test Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Kraft: 50,0 g	Gemessen am: Montag, 23. Januar 2012 11:16:31
T.A. Variable Nr: 7: 0,0 %	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslöse Kraft: 5,0 g= 2,0 mm	Werkzeug: P/5 ; 5mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Vollständiger Name: K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\Initialklebrigkeit\Doktorarbeit Fr. Gerlach\Kalore 1005141 RT\Kalore 1005141 RT01.ARC

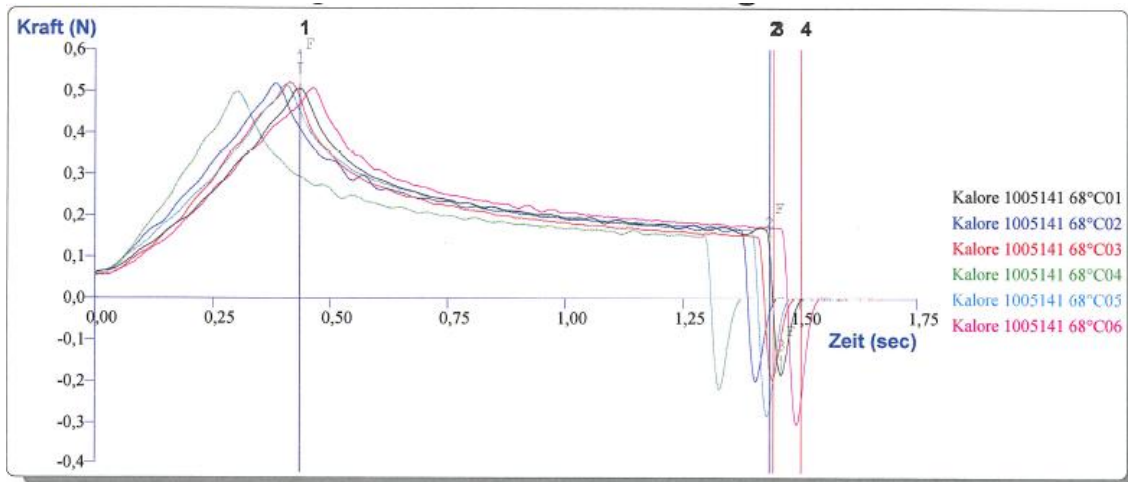
[illegible]



Sequenz Titel: Kalore A3 #1005141 40°C01	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
T.A. Variable Nr: 1: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 18. Oktober 2011 12:01:54
Vor Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: Admin
Test Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Kraft: 50,0 g	Gemessen am: Montag, 23. Januar 2012 12:19:53
T.A. Variable Nr: 7: 0,0 %	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslöse Kraft: 5,0 g= 2,0 mm	Werkzeug: P/5 ; 5mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Vollständiger Name: K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten\Initialklebrigkeit\Doktorarbeit Fr. Gerlach\Kalore A3 #1005141 40°C\Kalore A3 #1005141 40°C01.ARC

[illegible]

[illegible]



Sequenz Titel: Kalore 1005141 68°C01	Kapazität Kraftmesszelle : 5000g
T.A. Variable Nr: 1: Druck	Datum Kalibrierung: Dienstag, 18. Oktober 2011 12:01:54
Vor Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	Kraftmesszelle Kalibriert von: Admin
Test Geschwindigkeit: 0,1 mm/sec	
Rück Geschwindigkeit: 3,0 mm/sec	Gemessen von: f15224
Kraft: 50,0 g	Gemessen am: Montag, 23. Januar 2012 11:54:53
T.A. Variable Nr: 7: 0,0 %	Kurven Bemerkungen (Notizen):
Auslöse Kraft: 5,0 g= 2,0 mm	Werkzeug: P/5 ; 5mm Ø Stempel Edelstahl
Messpunkte pro Sekunde: 500	Vollständiger Name: K:\HKG-RD\Messungen\TextureAnalyser\Messdaten Initialklebrigkeit\Doktorarbeit Fr. Gerlach\Kalore 1005141 68°C\Kalore 1005141 68°C01.ARC

[illegible]

Anlage 4

Biegefestigkeit und E-Modul

Parametertabelle:

Prüfnorm : Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Charisma
 Farbe : A3
 Charge : 010337

Belichtung : 20sec Translux
 Lagerung : 24h, 37°C in H2O
 Bemerkung : 23°C
 Prüfer :
 Prüfdatum :

Beginn E-Modulermittlung : 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

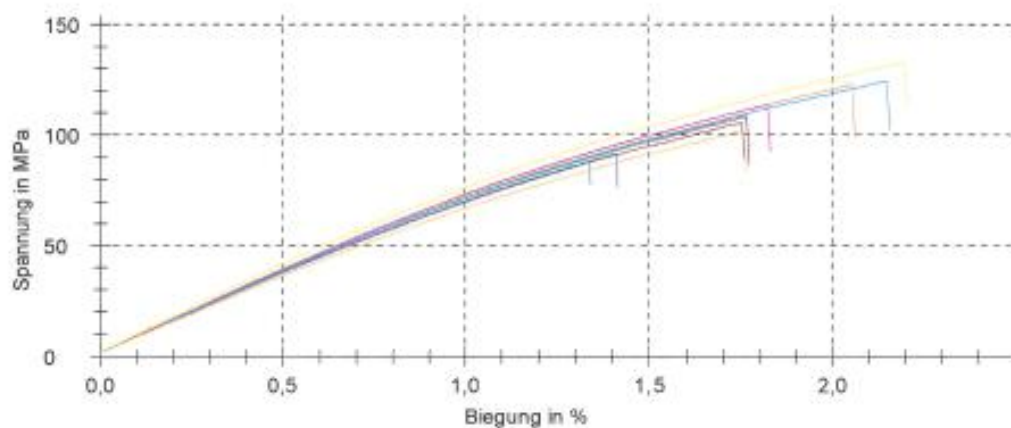
Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	105,5	7222	1,996	2,019	28,28	0,58
	2	108,1	7526	2,030	2,052	30,46	0,58
	3	91,5	7322	2,032	2,003	25,22	0,40
	4	87,7	7359	2,039	2,036	24,74	0,44
	5	109,1	7450	2,004	2,028	29,61	0,59
	6	122,6	7589	2,017	2,051	34,11	0,68
	7	132,6	8029	2,031	2,047	37,33	0,72
	8	113,5	7564	2,009	2,022	30,89	0,60
	9	124,3	7466	2,040	2,024	34,91	0,70
	10	101,8	6948	2,045	2,040	28,96	0,57

Statistik:

Serie n = 10	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
x	109,7	7447	2,024	2,032	30,45	0,59
s	14,2	279	0,017	0,016	4,06	0,09
v	12,97	3,75	0,83	0,78	13,33	15,64



Parametertabelle:

Prüfnorm : Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Charisma
 Farbe : A3
 Charge : 010337

Belichtung : 20sec Translux
 Lagerung : 24h, 37°C in H₂O
 Bemerkung : 40°C
 Prüfer :
 Prüfdatum :

Beginn E-Modulermittlung: 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

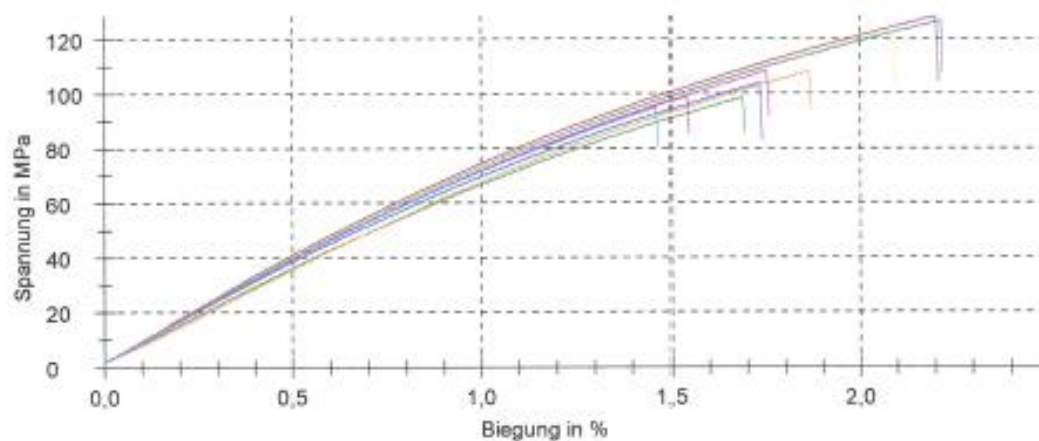
Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	128,1	7935	2,028	2,046	35,92	0,72
	2	98,6	6927	1,993	2,105	27,48	0,56
	3	103,0	7393	2,003	2,009	20,94	0,50
	4	126,4	7777	2,012	2,049	34,96	0,73
	5	98,9	7616	2,002	2,042	26,97	0,51
	6	107,9	6839	1,985	2,019	28,62	0,63
	7	122,8	7797	2,025	2,104	35,33	0,69
	8	108,2	7597	2,016	2,106	30,87	0,58
	9	94,8	7605	1,999	2,033	25,66	0,49

Statistik:

Serie n = 9	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
x	109,9	7499	2,007	2,066	30,53	0,61
s	12,7	381	0,014	0,035	3,93	0,09
v	11,58	5,09	0,72	1,68	12,88	14,56



Parametertabelle:

Prüfnorm : Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Charisma
 Farbe : A3
 Charge : 010337

Belichtung : 20sec Translux
 Lagerung : 24h, 37°C in H2O
 Bemerkung : 50°C
 Prüfer :
 Prüfdatum :

Beginn E-Modulermittlung : 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

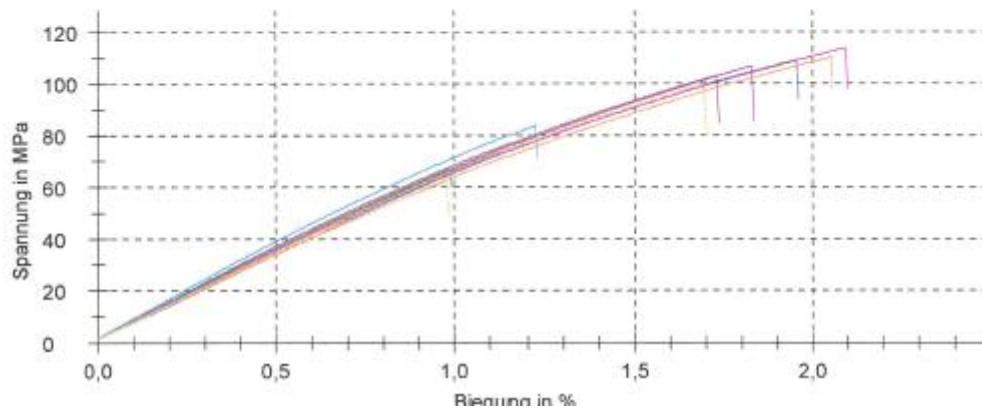
Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	103,0	7100	1,994	2,033	27,76	0,58
	2	67,1	6989	1,999	2,029	18,14	0,33
	3	109,2	6939	2,003	2,011	29,37	0,05
	4	99,5	6553	1,999	2,033	26,95	0,57
	5	106,7	6804	2,010	2,015	28,95	0,61
	6	110,2	6486	2,007	2,017	29,84	0,68
	7	99,2	6855	1,983	2,027	26,37	0,57
	8	113,7	6767	1,994	2,024	30,51	0,70
	9	83,9	7491	1,993	2,023	22,46	0,41
	10	62,2	6568	2,006	2,014	16,79	0,32

Statistik:

Serie	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
n = 10						
x	95,5	6855	1,999	2,023	25,71	0,54
s	18,3	300	0,008	0,008	4,92	0,14
v	19,13	4,37	0,41	0,40	19,12	25,61



Parametertabelle:

Prüfnorm : Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Charisma
 Farbe : A3
 Charge : 010337

Belichtung : 20sec Translux
 Lagerung : 24h, 37°C in H2O
 Bemerkung : 68°C
 Prüfer :
 Prüfdatum :

Beginn E-Modulermittlung : 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

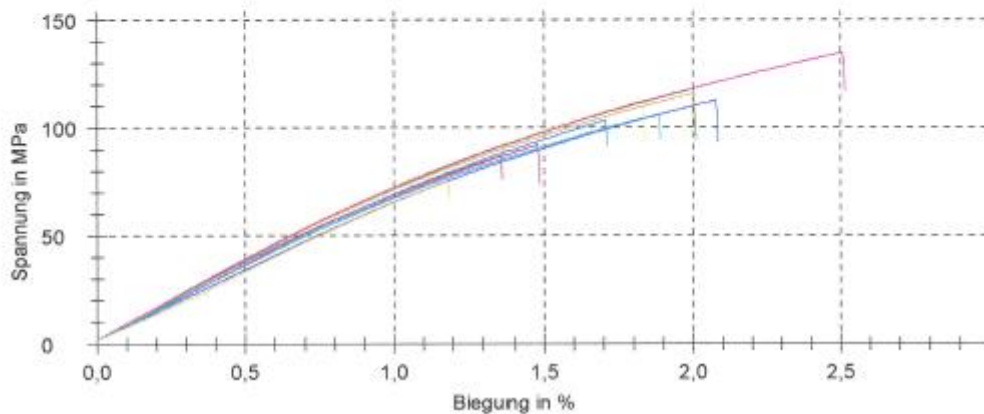
Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	86,9	7292	2,013	2,069	24,28	0,45
	2	117,9	7471	2,003	2,290	36,12	0,67
	3	112,6	6526	1,998	2,027	30,38	0,60
	4	103,4	7104	2,022	2,086	29,40	0,56
	5	92,1	6924	1,990	2,072	25,18	0,50
	6	115,8	7544	2,002	2,069	32,01	0,67
	7	112,5	7624	2,015	2,086	31,75	0,61
	8	134,5	7545	2,014	2,048	37,25	0,83
	9	106,2	6993	1,998	2,036	28,76	0,63
	10	75,1	6421	2,001	2,061	20,65	0,39

Statistik:

Serie n = 10	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
x	105,7	7144	2,006	2,084	29,58	0,60
s	17,2	429	0,010	0,075	5,17	0,13
v	16,26	6,01	0,49	3,59	17,48	21,39



Parametertabelle:

Prüfnorm : Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Venus Diamond
 Farbe : A3
 Charge : 010038

Belichtung : 20sec Translux
 Lagerung : 24h, 37°C in H2O
 Bemerkung : 23°C
 Prüfer :
 Prüfdatum :

Beginn E-Modulermittlung : 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

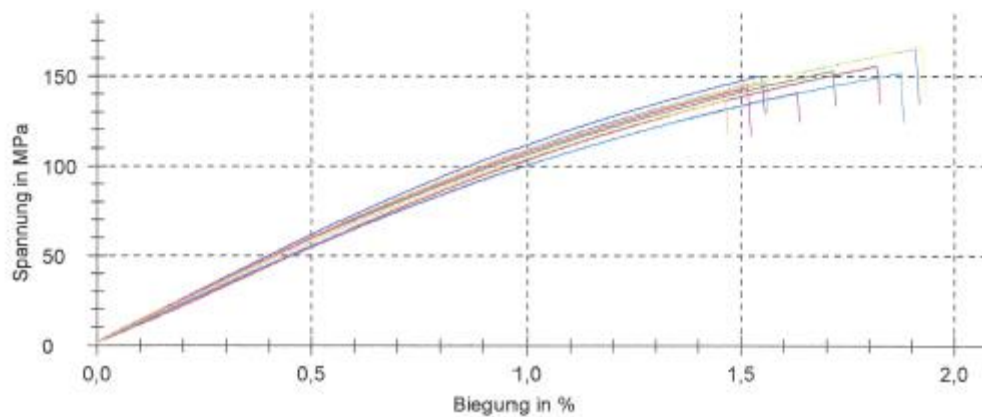
Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	155,4	10514	2,024	2,082	44,17	0,60
	2	152,7	11757	2,013	2,039	42,05	0,57
	3	149,9	12079	2,052	2,066	43,46	0,50
	4	165,1	11673	2,025	2,083	47,01	0,63
	5	140,6	10673	1,996	2,035	37,99	0,54
	6	146,3	11945	2,059	2,126	43,95	0,50
	7	166,1	11665	2,002	2,026	44,96	0,64
	10	143,3	11790	2,005	2,027	38,93	0,50
	17	151,6	10886	2,001	2,041	41,30	0,62
	18	136,1	11466	2,125	2,073	42,46	0,46

Statistik:

Serie n = 10	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
x	150,7	11445	2,030	2,060	42,63	0,56
s	9,8	552	0,040	0,032	2,72	0,06
v	6,49	4,83	1,95	1,56	6,39	11,44



Parametertabelle:

Prüfnorm : Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Venus Diamond
 Farbe : A3
 Charge : 010038

Belichtung : 20sec Translux
 Lagerung : 24h, 37°C in H2O
 Bemerkung : 40°C
 Prüfer :
 Prüfdatum :

Beginn E-Modulermittlung: 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

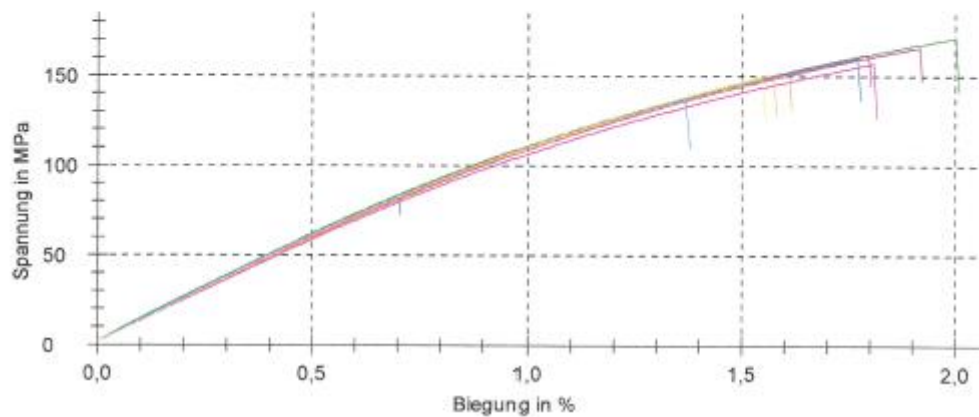
Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	165,9	11774	2,011	2,044	45,70	0,64
	2	171,1	12275	2,064	2,081	50,55	0,65
	3	82,2	12084	2,058	2,087	24,21	0,23
	4	159,6	12259	2,044	2,081	46,25	0,58
	5	162,0	12071	2,016	2,058	45,17	0,59
	6	150,8	11886	2,039	2,095	43,78	0,53
	7	148,7	11910	2,014	2,029	40,79	0,51
	8	156,8	11432	2,042	2,085	45,45	0,59
	9	137,3	12201	2,049	2,052	39,43	0,45
	10	150,8	11787	2,019	2,067	42,34	0,52

Statistik:

Serie n = 10	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
x	148,5	11966	2,036	2,068	42,37	0,53
s	25,2	263	0,019	0,022	7,10	0,12
v	16,97	2,19	0,95	1,04	16,75	23,07



Parametertabelle:

Prüfnorm : Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Venus Diamond
 Farbe : A3
 Charge : 010038

Belichtung : 20sec Translux
 Lagerung : 24h, 37°C in H2O
 Bemerkung : 50°C
 Prüfer :
 Prüfdatum :

Beginn E-Modulermittlung : 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

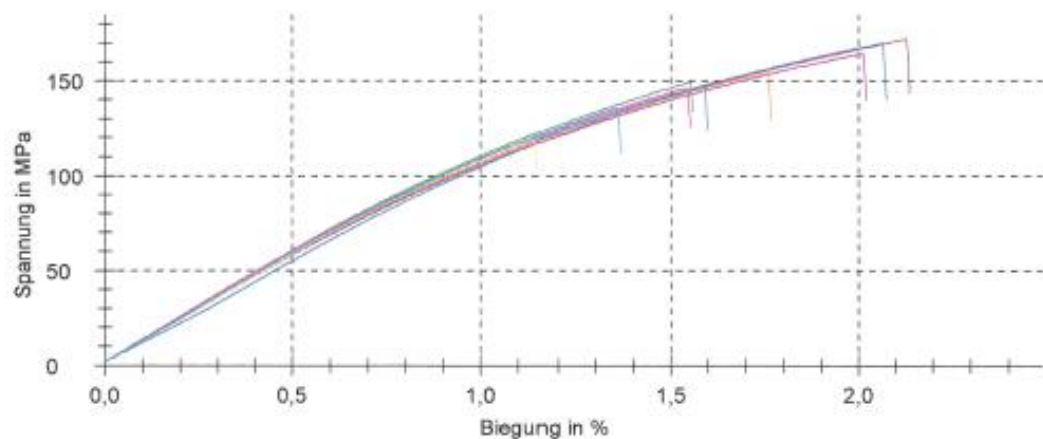
Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	171,8	11505	2,018	2,050	47,82	0,70
	2	149,2	11962	2,016	2,034	41,10	0,51
	3	109,8	11709	2,042	2,072	48,89	0,07
	4	146,4	10336	2,026	2,069	41,44	0,52
	5	164,3	11366	2,032	2,076	46,95	0,66
	6	154,4	11827	2,000	2,025	41,68	0,59
	7	118,8	11313	1,986	2,073	32,37	0,38
	8	146,1	11949	2,054	2,089	42,92	0,50
	9	135,8	11647	2,010	2,043	37,36	0,45

Statistik:

Serie	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
n = 9						
\bar{x}	150,7	11513	2,020	2,059	42,28	0,56
s	16,9	499	0,021	0,022	5,26	0,11
v	11,24	4,34	1,03	1,05	12,45	19,59



Parametertabelle:

Prüfnorm: Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Venus Diamond
 Farbe : A3
 Charge : 010038

Belichtung : 20sec Translux
 Lagerung : 24h, 37°C in H₂O
 Bemerkung : 68°C
 Prüfer :
 Prüfdatum :

Beginn E-Modulermittlung: 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

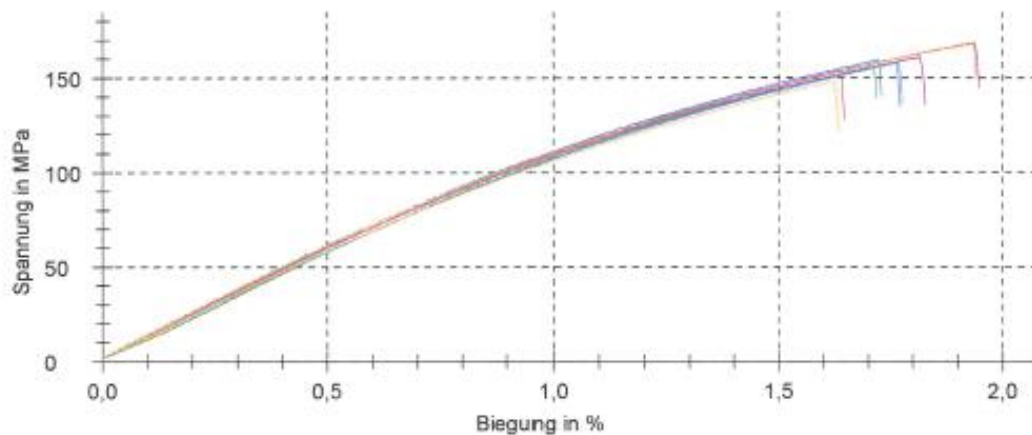
Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	168,4	12093	2,053	2,105	49,80	0,63
	2	156,0	11010	2,049	2,108	46,03	0,56
	3	158,4	12188	2,035	2,009	45,23	0,58
	4	159,2	11936	2,036	2,057	45,26	0,56
	5	160,9	11804	2,035	2,078	46,16	0,60
	6	168,0	11567	2,038	2,035	47,34	0,63
	7	152,9	12144	2,028	2,128	44,62	0,54
	8	153,6	11879	2,012	2,035	42,17	0,54
	9	158,0	11251	2,035	2,136	46,58	0,58
	10	148,2	11420	2,020	2,047	41,27	0,54

Statistik:

Serie n = 10	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
x	158,4	11729	2,034	2,080	45,44	0,58
s	6,3	402	0,012	0,037	2,44	0,04
v	4,01	3,43	0,60	1,80	5,37	6,16



Parametertabelle:

Prüfnorm : Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Tetric EvoCeram
 Farbe : A3
 Charge : N78433

Belichtung : 20sec Translux
 Lagerung : 24h, 37°C in H₂O
 Bemerkung : 23°C
 Prüfer :
 Prüfdatum :

Beginn E-Modulermittlung: 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

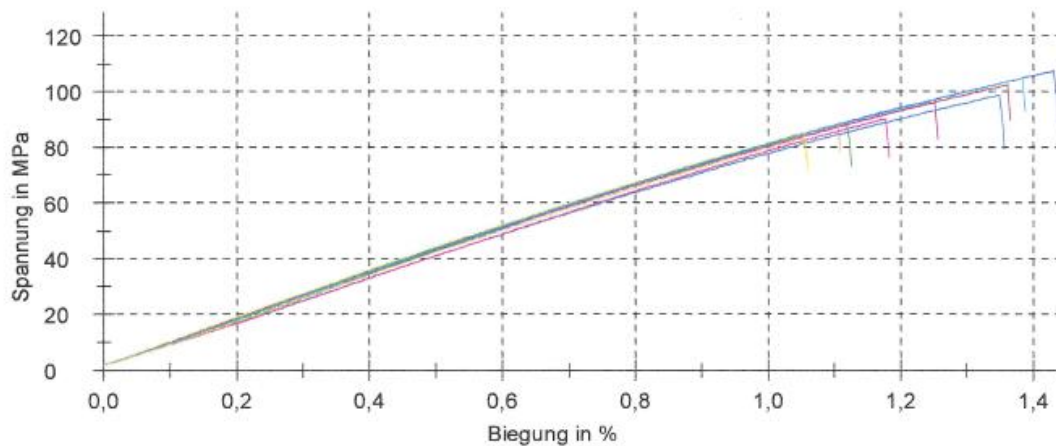
Prüfungsgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	102,3	8417	2,055	2,027	29,18	0,44
	2	88,0	8359	2,030	2,147	25,96	0,37
	3	107,3	8228	2,020	2,090	30,49	0,47
	4	98,7	7884	2,015	2,099	28,03	0,45
	5	95,9	8475	2,048	2,035	27,30	0,41
	6	87,9	8565	2,039	2,032	24,77	0,36
	7	85,1	8599	2,052	2,027	24,22	0,34
	8	90,0	7864	2,002	2,105	25,32	0,39
	9	104,7	8462	2,048	2,037	29,82	0,45
	10	83,3	8186	2,022	2,147	24,37	0,35

Statistik:

Serie n = 10	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
\bar{x}	94,3	8304	2,033	2,075	26,95	0,40
s	8,6	261	0,018	0,049	2,35	0,05
v	9,11	3,15	0,89	2,36	8,71	11,78



Parametertabelle:

Prüfnorm : Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Tetric EvoCeram
 Farbe : A3
 Charge : N78433

Belichtung : 20sec Translux
 Lagerung : 24h, 37°C in H₂O
 Bemerkung : 40°C
 Prüfer :
 Prüfdatum :

Beginn E-Modulermittlung: 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

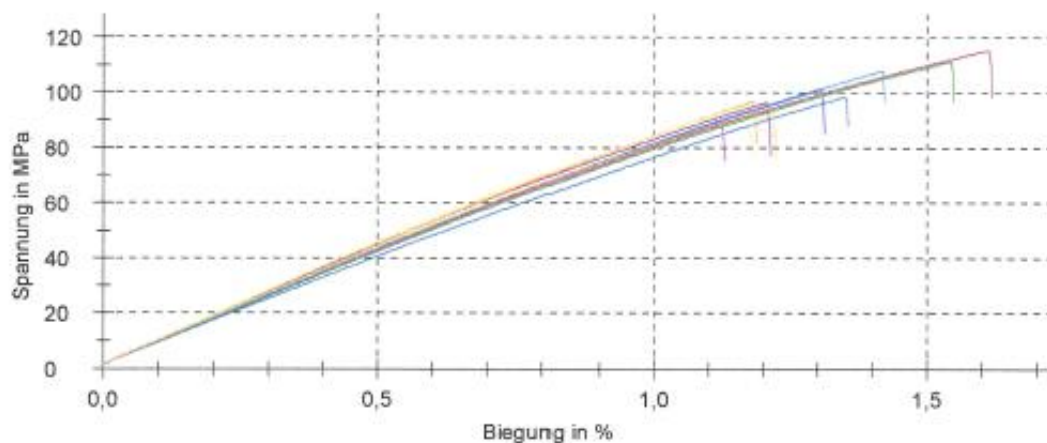
Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	115,2	8243	2,007	2,021	31,27	0,54
	2	111,2	8184	2,008	2,031	30,37	0,51
	3	101,0	8274	2,020	2,034	27,94	0,43
	4	98,3	7785	2,031	2,027	27,38	0,44
	5	96,3	8751	2,032	2,087	27,66	0,40
	6	96,7	8627	2,041	2,062	27,68	0,39
	7	95,6	8852	2,033	2,049	26,97	0,38
	8	88,9	8284	2,005	2,045	24,37	0,37
	9	107,8	8338	2,026	2,057	30,34	0,47
	10	94,7	8493	2,030	2,026	26,35	0,40

Statistik:

Serie n = 10	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
x	100,6	8383	2,023	2,044	28,03	0,43
s	8,3	310	0,013	0,020	2,09	0,06
v	8,22	3,70	0,63	1,00	7,45	13,01



Parametertabelle:

Prüfnorm : Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Tetric EvoCeram
 Farbe : A3
 Charge : N78433

Belichtung : 20sec Translux
 Lagerung : 24h, 37°C in H₂O
 Bemerkung : 50°C
 Prüfer :
 Prüfdatum :

Beginn E-Modulermittlung: 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

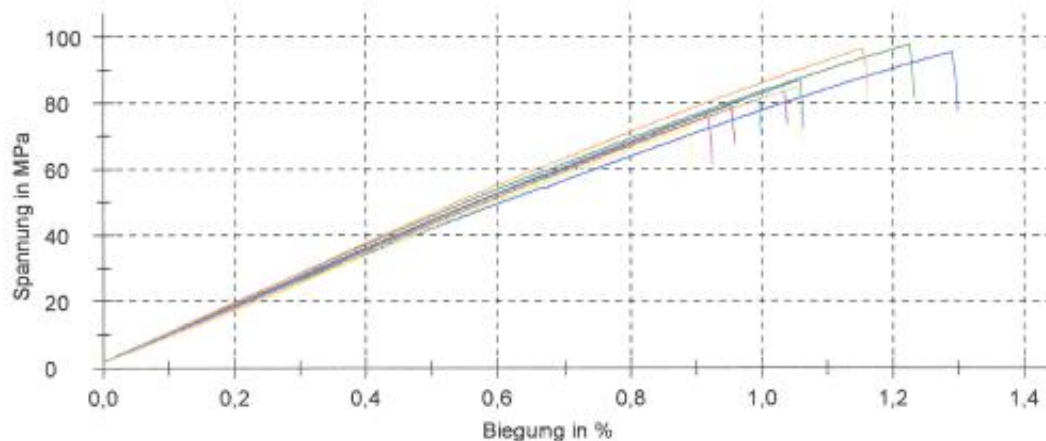
Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	79,2	8484	2,034	2,026	22,13	0,31
	2	97,6	8938	2,072	2,146	29,97	0,39
	3	95,4	8118	2,046	2,044	27,22	0,42
	4	86,8	8620	2,035	2,052	24,60	0,35
	5	83,4	8650	2,053	2,170	25,43	0,34
	6	96,3	9025	2,068	2,134	29,30	0,37
	7	72,1	8112	2,031	2,060	20,42	0,29
	8	75,6	8370	2,041	2,052	21,55	0,30
	9	80,8	8398	2,044	2,139	24,08	0,32
	10	85,0	8289	2,041	2,057	24,27	0,35

Statistik:

Serie n = 10	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
x	85,2	8500	2,047	2,088	24,90	0,34
s	8,9	312	0,014	0,053	3,18	0,04
v	10,39	3,66	0,68	2,52	12,76	11,97



Parametertabelle:

Prüfnorm: Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Tetric EvoCeram
 Farbe : A3
 Charge : N78433

Belichtung : 20sec Translux
 Lagerung : 24h, 37°C in H₂O
 Bemerkung : 68°C
 Prüfer :
 Prüfdatum :

Beginn E-Modulermittlung: 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

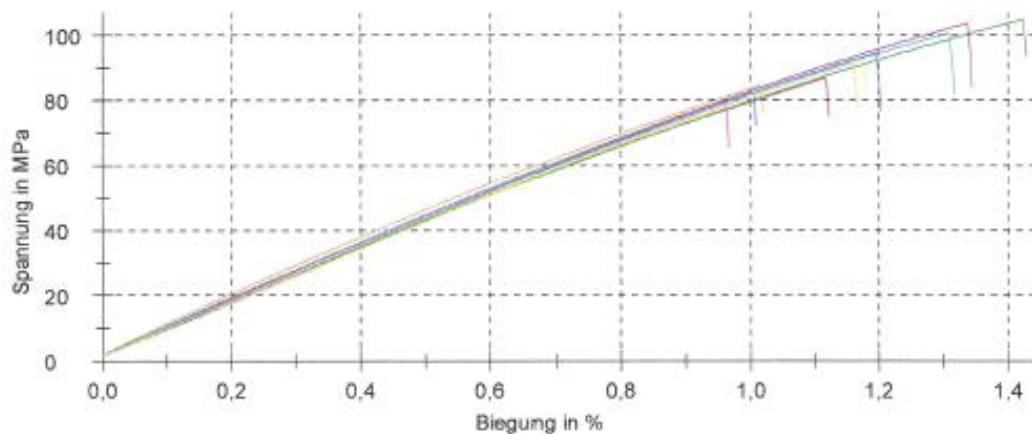
Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	86,8	8320	2,062	2,038	25,06	0,36
	2	104,8	8298	2,050	2,053	30,13	0,46
	3	82,4	8661	2,051	2,054	23,72	0,33
	4	94,4	8548	2,027	2,054	26,57	0,39
	5	103,6	8641	2,037	2,052	29,41	0,44
	6	84,4	9071	2,052	2,045	24,22	0,33
	7	92,3	8436	2,049	2,035	26,28	0,38
	8	79,2	8661	2,058	2,045	22,87	0,31
	9	100,5	8642	2,070	2,096	30,08	0,42
	10	91,3	8258	2,056	2,026	26,07	0,38

Statistik:

Serie n = 10	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
x	92,0	8554	2,051	2,050	26,44	0,38
s	8,9	242	0,012	0,019	2,64	0,05
v	9,72	2,83	0,59	0,91	9,99	13,20



Parametertabelle:

Prüfnorm: Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Kalore
 Farbe : A3
 Charge : 1005141

Belichtung : 5 x 20s bs. TLE
 Lagerung : 24h, 37°C in H2O
 Bemerkung :
 Prüfer :
 Prüfdatum : 31.01.2012

Beginn E-Modulermittlung: 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

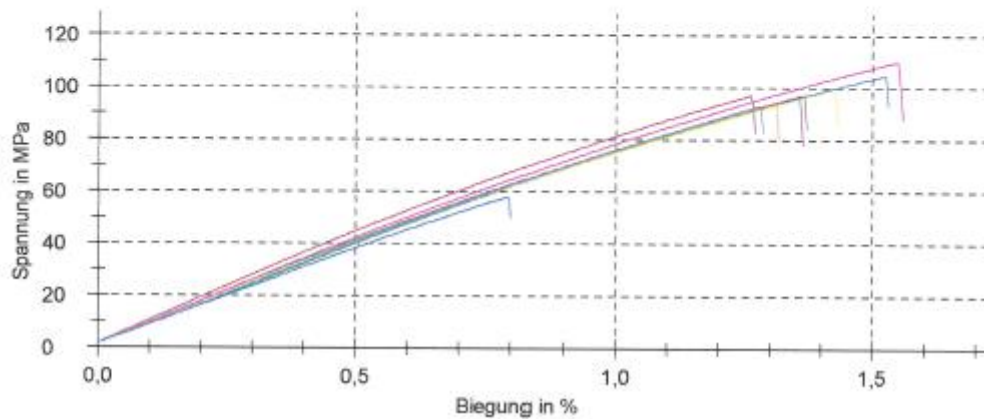
Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	97,1	8730	2,088	2,070	29,21	0,40
	2	97,1	7687	2,007	2,021	26,35	0,45
	3	57,9	7324	2,066	2,032	16,73	0,26
	4	104,7	8008	2,053	2,027	29,82	0,49
	5	96,9	7955	2,058	2,034	27,82	0,44
	6	94,1	7878	2,048	2,028	26,69	0,43
	7	99,5	7900	2,083	2,047	29,44	0,46
	8	110,2	8174	2,044	2,041	31,31	0,51
	9	93,0	7809	2,042	2,029	26,24	0,42

Statistik:

Serie n = 9	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
x	94,5	7941	2,054	2,037	27,07	0,43
s	14,7	379	0,024	0,015	4,25	0,07
v	15,60	4,78	1,17	0,72	15,71	16,97



Parametertabelle:

Prüfnorm: Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Kalore
 Farbe : A3
 Charge : 1005141

Belichtung : 5 x 20s bs. TLE
 Lagerung : 24h, 37°C in H2O
 Bemerkung : 40°C
 Prüfer :
 Prüfdatum : 31.01.2012

Beginn E-Modulermittlung: 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

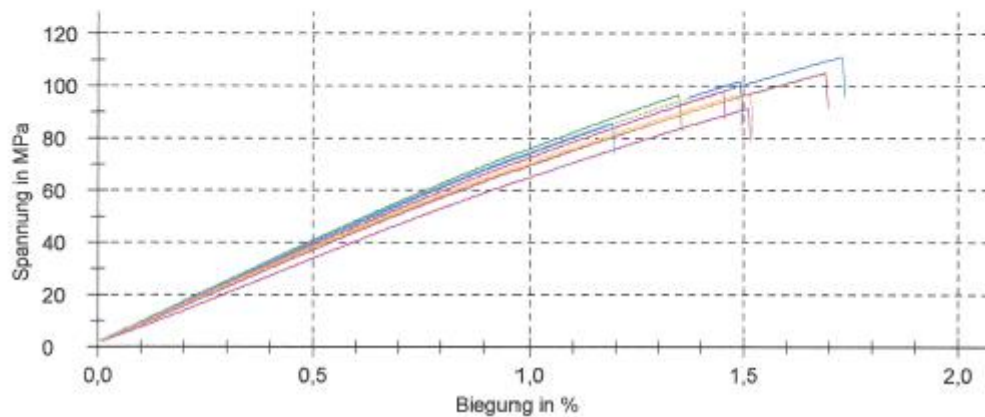
Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	105,0	7147	2,082	2,047	31,05	0,54
	2	96,4	7861	2,034	2,039	27,10	0,44
	3	101,7	7615	2,059	2,054	29,52	0,48
	4	111,1	7447	2,076	2,057	32,82	0,56
	5	91,3	6518	2,105	2,026	27,33	0,48
	6	96,8	7320	2,133	2,058	30,21	0,47
	7	95,4	7767	2,051	2,059	27,54	0,44
	8	97,7	7503	2,084	2,050	28,99	0,46
	9	85,7	7775	2,042	2,051	24,44	0,39
	10	96,5	7433	2,130	2,026	29,58	0,47

Statistik:

Serie n = 10	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
x	97,8	7439	2,080	2,047	28,86	0,47
s	7,0	392	0,035	0,012	2,36	0,05
v	7,16	5,27	1,67	0,61	8,17	10,08



Parametertabelle:

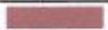







Prüfnorm : Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Kalore
 Farbe : A3
 Charge : 1005141

Belichtung : 5 x 20s bs. TLE
 Lagerung : 24h, 37°C in H2O
 Bemerkung : 50°C
 Prüfer :
 Prüfdatum : 31.01.2012

Beginn E-Modulermittlung : 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

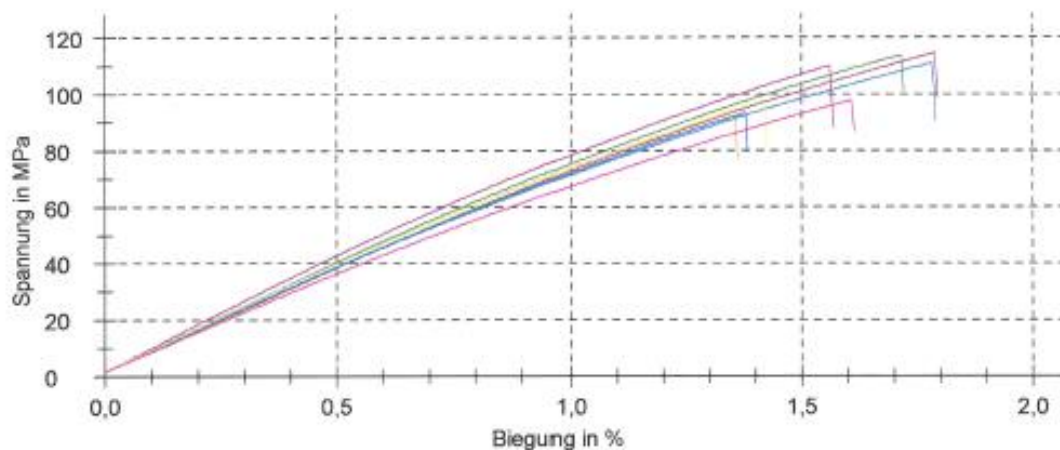
Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	114,5	7365	2,033	2,024	31,92	0,59
	2	113,8	7762	2,053	2,046	32,71	0,56
	3	93,2	7429	2,015	2,022	25,51	0,46
	4	111,0	7413	2,067	2,026	32,02	0,57
	5	110,0	8339	2,051	2,072	31,95	0,51
	6	93,9	7673	2,033	2,074	26,84	0,44
	7	97,5	7644	2,051	2,066	28,24	0,46
	8	97,7	6986	2,068	2,067	28,79	0,52

Statistik:

Serie n = 8	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
x	103,9	7576	2,046	2,050	29,75	0,51
s	9,2	391	0,018	0,023	2,75	0,06
v	8,83	5,17	0,89	1,11	9,26	10,86



Parametertabelle:

Prüfnorm: Biegeversuch nach ISO 4049
 Projekt : Doktorarbeit
 Material : Kalore
 Farbe : A3
 Charge : 1005141

Belichtung : 5 x 20s bs. TLE
 Lagerung : 24h, 37°C in H₂O
 Bemerkung : 68°C
 Prüfer :
 Prüfdatum : 31.01.2012

Beginn E-Modulermittlung: 1 N
 Ende E-Modulermittlung : 10 N

Prüfgeschwindigkeit: 0,75 mm/min
 Stützweite : 20 mm

Ergebnisse:

Legende	Nr	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
	1	96,8	6773	2,141	2,037	30,12	0,51
	2	93,1	6810	2,090	2,030	27,51	0,47
	3	105,6	7141	2,097	2,048	31,70	0,54
	4	93,0	6863	2,063	2,036	26,87	0,48
	5	90,9	6740	2,122	2,035	27,75	0,47
	6	94,6	7205	2,062	2,010	26,94	0,47
	7	94,1	6346	2,091	2,020	27,69	0,50
	8	108,9	6947	2,057	2,009	30,87	0,59
	9	94,4	7225	2,138	2,055	29,55	0,46

Statistik:

Serie n = 9	Biegefestigkeit MPa	EModul MPa	Dicke mm	Breite mm	F Max N	L-F max mm
x	96,8	6895	2,096	2,031	28,78	0,50
s	6,2	278	0,032	0,016	1,81	0,04
v	6,39	4,03	1,54	0,78	6,28	8,40

